กรมทรัพยากรน้ำ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คู่มือการสำรวจออกแบบ
โครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

จัดทำโดย
กลุ่มการวิจัยและพัฒนาแหล่งน้ำ
ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำนำ

การจัดทำคู่มือ “**การสำรวจออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ**” ฉบับนี้ กรมทรัพยากรน้ำได้ร่วมมือกับกลุ่มการวิจัยและพัฒนาแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพขององค์กรและบุคลากรของกรมทรัพยากรน้ำในด้านการสำรวจออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ และมีเอกสารคู่มือด้านการออกแบบสำหรับการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ ในการจัดหาแหล่งน้ำใหม่และการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำเดิมที่มีอยู่ให้คงความอุดมสมบูรณ์ ตามความต้องการแหล่งน้ำสำหรับการประกอบอาชีพเกษตรกรรม เพื่อเพิ่มผลผลิตและเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้น เพื่อใช้เป็นฐานของการดำรงชีวิตที่ดี

กรมทรัพยากรน้ำหวังว่าผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ สามารถนำแนวทางในหนังสือเล่มนี้ไปใช้ในการสำรวจออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ ที่ก่อให้เกิดประโยชน์ในการยกระดับการดำรงชีวิตของประชาชนให้ดีขึ้น ตลอดจนทำให้การพัฒนา อนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำดำรงอยู่คู่กับการดำรงชีพของมนุษย์ในสังคมอย่างยั่งยืนต่อไป

กรมทรัพยากรน้ำ

ธันวาคม 2557

1. การวางโครงการ หน้า

1.1 ประเภทของแหล่งน้ำธรรมชาติ 1-1
1.2 ประเภทของโครงการพัฒนา อนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำ 1-2
1.3 ขั้นตอนดำเนินงานโครงการพัฒนา อนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำ 1-6
1.4 แนวคิดการพัฒนา 1-7
1.5 การวางโครงการ 1-7
1.6 การศึกษาและกำหนดลักษณะโครงการ 1-10
1.7 การพิจารณาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการ 1-17
1.8 เกณฑ์การพิจารณาที่ตั้งขององค์ประกอบโครงการ 1-19
1.9 เกณฑ์การจัดลำดับโครงการ 1-21
1.10 ตัวอย่างรายงานการตรวจสอบความเหมาะสมโครงการเบื้องต้น 1-23

2. การสำรวจทางวิศวกรรม

2.1 การสำรวจพื้นที่โครงการเบื้องต้น 2-1
2.2 การสำรวจภูมิประเทศ 2-2
2.3 การสำรวจทางด้านธรณีเทคนิค 2-28

3. การออกแบบรายละเอียด

3.1 การออกแบบทางด้านอุทกวิทยา 3-1
3.2 การออกแบบโครงสร้างทั่วไป 3-16
3.3 การออกแบบฝายน้ำล้น(Weir) 3-27
3.4 การออกแบบประตูระบายน้ำ(Regulator) 3-57
3.5 การออกแบบอาคารระบายน้ำล้น(Spillway) 3-65
3.6 การออกแบบบานระบาย(Gate) 3-70
3.7 การออกแบบระบบกระจายน้ำ 3-71
3.8 การออกแบบอาคารบังคับน้ำ 3-87
3.9 การออกแบบทางด้านธรณีเทคนิค 3-106
3.10 การออกแบบอาคารประกอบ 3-115
3.11 การออกแบบคันดิน 3-117
3.12 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง 3-119
3.13 การออกแบบภูมิทัศน์และสิ่งแวดล้อม 3-123
3.14 การออกแบบฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติ 3-127

4. การเขียนแบบรายละเอียด

4.1 ประเภทโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ 4-1
4.2 ประเภทโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ 4-10
4.3 ประเภทโครงการซ่อม ปรับปรุงแหล่งน้ำ 4-15
4.4 ตัวอย่างการเขียนรายละเอียดลักษณะโครงการ 4-16
4.5 แบบประกอบ 4-21
4.6 หมายเหตุในแบบ 4-21

5. การประมาณราคาโครงการ

5.1 ชนิดของเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดิน 5-1
5.2 การจัดเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดิน 5-9
5.3 การประมาณปริมาณวัสดุและราคาค่าก่อสร้าง 5-11
5.4 องค์ประกอบของค่าก่อสร้างของโครงการ 5-11
5.5 การคำนวณค่างานต้นทุนต่อหน่วย 5-13
5.6 การคำนวณค่างานก่อสร้าง 5-13
5.7 การจัดทำบัญชีวัสดุก่อสร้าง (Bill of Quantities) 5-13
5.8 การคำนวณระยะเวลาการก่อสร้าง 5-14
5.9 แนวทางการแบ่งงวดงาน 5-15

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาและการหาปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำนองสูงสุดของ 25 ลุ่มน้ำ
ภาคผนวก ข กราฟความเข้มน้ำฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curve)
ภาคผนวก ค ความต้องการน้ำ
บรรณานุกรม

ส่วนที่ 1

การวางโครงการ

1. การวางโครงการ

แหล่งน้ำธรรมชาติที่ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ลดลง เนื่องจากมีดินมาตกตะกอนทับถม เกิดการตื้นเขิน ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศ พื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่อยู่อาศัย ต้องดำเนินการฟื้นฟูและพัฒนาให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิม รวมทั้งบูรณาการความต้องการของประชาชนและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นร่วมเข้าไปด้วย ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรแหล่งน้ำอย่างรอบคอบและครอบคลุมในหลายมิติ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้ามามีส่วนร่วมตั้งแต่เริ่มพิจารณาความเหมาะสมของโครงการขั้นต้น หากโครงการที่พิจารณามีความเหมาะสมก็สามารถดำเนินการในขั้นตอนดำเนินงานโครงการพัฒนา อนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำต่อไปได้

1.1 ประเภทของแหล่งน้ำธรรมชาติ

แหล่งน้ำธรรมชาติในระดับท้องถิ่นที่อยู่ในกระบวนงาน “การอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ” ประกอบด้วย

1) **ลำธาร** เป็นทางน้ำไหลหลากบริเวณต้นน้ำที่เป็นพื้นที่ลาดสูง เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ
2) **ห้วย** เป็นทางน้ำหรือลำน้ำที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นทางน้ำไหลหลากบริเวณพื้นที่ราบหรือพื้นที่ลุ่ม
3) **บึง** เป็นแหล่งน้ำขนาดกลางหรือใหญ่ที่มีน้ำท่วมขังตลอดปี มีความลึกพอประมาณลักษณะชายฝั่งเป็นที่ราบมีพรรณไม้พุ่มหรือต้นไม้ขึ้นอยู่รอบๆ
4) **กุด** เป็นแหล่งน้ำที่เกิดจากซากของทางน้ำเก่า ที่ปัจจุบันสายน้ำเปลี่ยนทางเดินไป มีลักษณะเป็นแนวร่องน้ำยาวและจะกุดกุ้นที่ปลายสุดทั้งสองข้าง
5) **หนองน้ำ** เป็นแหล่งน้ำตื้นๆ ขนาดเล็กที่มีความลาดชันน้อยไม่มีเขตน้ำลึก ส่วนใหญ่เป็นที่ลุ่มน้ำท่วม ในฤดูฝนพื้นที่จะกลายเป็นพื้นน้ำกว้างใหญ่ แต่ในฤดูแล้งปริมาณน้ำอาจลดลงมาก จนตื้นเขินไปทั้งหมด บริเวณรอบๆหนองน้ำจะมีพืชล้มลุกขึ้นอยู่

1.2 ประเภทของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ

ประเภทของแหล่งน้ำที่พัฒนาแล้วในอดีตและได้ใช้ประโยชน์มาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ประกอบด้วยประเภทใหญ่ๆดังนี้

1) ประเภทเก็บกักน้ำ ได้แก่

◊ **อ่างเก็บน้ำ** เป็นโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่สร้างปิดกันลำน้ำธรรมชาติระหว่างหุบเขาหรือเนินสูง เพื่อเก็บกักน้ำที่ไหลมามากในช่วงฤดูฝนไว้ทางด้านเหนือเขื่อน น้ำส่วนเกินความจุที่อ่างฯจะเก็บกักไว้ได้ก็จะระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้นลงสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายน้ำ ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้นี้สามารถนำออกมาใช้ทางอาคารที่ตัวเขื่อนได้ตลอดเวลาที่ต้องการในหลากหลายจุดประสงค์ โดยอาจจะระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำลงสู่ลำน้ำเดิม(River Outlet)ให้น้ำไหลไปตามลำน้ำให้กับเขื่อนทดน้ำที่สร้างอยู่ด้านล่างหรืออาจส่งเข้าคลองส่งน้ำจากหน้าเขื่อนก็ได้

อ่างเก็บน้ำ

◊ **ขุดลอกหนอง บึงธรรมชาติ** เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรองรับน้ำเช่น การเก็บกักน้ำ การระบายน้ำ เป็นต้น ปรับปรุงระบบการหมุนเวียนของน้ำ เพื่อรักษาคุณภาพน้ำและระบบนิเวศ หรือขุดลอกให้มีการเชื่อมต่อของน้ำ รวมทั้งก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำ เช่น อาคารรับน้ำเข้า อาคารระบายน้ำในตำแหน่งที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและแหล่งน้ำ เป็นต้น

การขุดลอกหนองน้ำ

2) ประเภททดน้ำ/ผันน้ำ ได้แก่

◊ **เขื่อนทด**น้ำ เป็นอาคารทดน้ำ/ผันน้ำประเภทหนึ่ง ซึ่งสร้างขวางลำน้ำท้ายอ่างเก็บน้ำ ใช้สำหรับทดน้ำ/ผันน้ำที่ระบายมาจากอ่างเก็บน้ำตามลำน้ำเดิมให้มีระดับสูง จนสามารถส่งเข้าคลองน้ำได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกตามปริมาณที่ต้องการในฤดูกาลเพาะปลูก โครงการเขื่อนทดน้ำมีขนาดใหญ่กว่าโครงการฝายน้ำล้น มีประตูสำหรับระบายน้ำส่วนเกินลงไปทางด้านท้ายน้ำตามปริมาณที่กำหนด

เขื่อนทดน้ำ

◊ **ฝายน้ำล้น** เป็นอาคารทดน้ำ/ผันน้ำประเภทหนึ่ง สร้างขึ้นทางต้นน้ำของลำน้ำธรรมชาติ ทำหน้าที่ทดน้ำ/ผันน้ำที่ไหลมาตามลำน้ำให้มีระดับสูง จนสามารถไหลเข้าคลองส่งน้ำได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกตามปริมาณที่ต้องการในฤดูการเพาะปลูก ส่วนน้ำที่เหลือจะไหลล้นข้ามสันฝายไป ฝายส่วนใหญ่จะมีขนาดความสูงไม่มากนัก มีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู

ฝายน้ำล้น

◊ **ประตูระบายน้ำ** เป็นอาคารทดน้ำ/ผันน้ำประเภทหนึ่ง ซึ่งสร้างขวางลำน้ำสำหรับทดน้ำ/ผันน้ำที่ไหลมาตามลำน้ำให้มีระดับสูง จนสามารถส่งเข้าคลองส่งน้ำได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกตามปริมาณที่ต้องการในฤดูกาลเพาะปลูก เช่นเดียวกับฝาย แต่ประตูระบายน้ำจะระบายน้ำผ่านเขื่อนไปได้ตามปริมาณที่กำหนดโดยไม่ยอมให้น้ำไหลล้นข้าม

ประตูระบายน้ำ

3) ประเภทระบายน้ำ ได้แก่

◊ **ปรับปรุงลำน้ำหรือทางน้ำธรรมชาติ** เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรองรับน้ำทั้งการระบายน้ำและเก็บกักน้ำ โดยการขุดลอกบริเวณที่เป็นคอขวดระบายน้ำไม่สะดวก ใช้พื้นที่ชายตลิ่งเป็นพื้นที่รองรับน้ำหลาก รวมทั้งก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำ เช่น ประตูน้ำ ฝายน้ำล้น ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น มีมาตรการเสริมความมั่นคงของลาดตลิ่งและป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ

การขุดลอก

4) ประเภทระบบกระจายน้ำ ได้แก่

◊ **คลองส่งน้ำ** เป็นทางน้ำสำหรับนำน้ำจากแหล่งเก็บกักน้ำ/ทดน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูก/พื้นที่รับประโยชน์ คลองส่งน้ำแต่ละสายจะมีขนาดใหญ่หรือเล็ก ยาวหรือสั้น ย่อมขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่เพาะปลูก/กิจกรรมการใช้น้ำที่คลองสายนั้น ๆ ควบคุมอยู่ และจำนวนคลองส่งน้ำทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการนั้นด้วย

ในกรณีที่จะส่งน้ำผ่านอ่างเก็บน้ำเข้าคลองส่งน้ำโดยตรง คลองส่งน้ำสายใหญ่จะสร้างต่อจากปลายท่อปากคลองส่งน้ำท้ายเขื่อนเก็บกักน้ำ สำหรับโครงการเขื่อนทดน้ำจะสร้างคลองส่งน้ำสายใหญ่ต่อจากบริเวณท้ายประตูหรือท่อปากคลองส่งน้ำซึ่งสร้างอยู่หน้าเขื่อนทดน้ำออกไป

คลองส่งน้ำ

◊ **ท่อส่งน้ำ** ใช้เมื่อระดับพื้นดินตามแนวส่งน้ำไม่สม่ำเสมอระดับสูงต่ำแตกต่างกันจนไม่สามารถจะขุดคลองส่งน้ำได้ การออกแบบต้องยึดระดับผิวน้ำเก็บกักที่แหล่งน้ำ เช่น ประตูน้ำและฝายน้ำล้น เป็นต้น พลังงานความสูงของน้ำในท่อจะสูญเสียไปตามแนวท่อเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของท่อ การสูญเสียนี้จะมีค่าน้อยเมื่อเลือกใช้ท่อขนาดใหญ่ขึ้นที่อัตราการไหลคงที่ น้ำจะไหลไปในท่อตามธรรมชาติได้ เมื่อระดับท่ออยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในแหล่งเก็บน้ำและต่ำกว่า Hydraulic Grade Line จุดที่จะนำน้ำจากท่อออกไปใช้ต้องมีระดับสูงกว่าพื้นที่เพาะปลูก การออกแบบท่อส่งน้ำให้เหมาะสม ต้องทดลองเลือกชนิดท่อและท่อขนาดต่างๆ ทำการเปรียบเทียบค่าลงทุนกับผลประโยชน์ที่ได้รับ แล้วเลือกใช้ชนิดท่อและขนาดที่ได้ค่า B/C ratio สูงที่สุด

ท่อส่งน้ำ

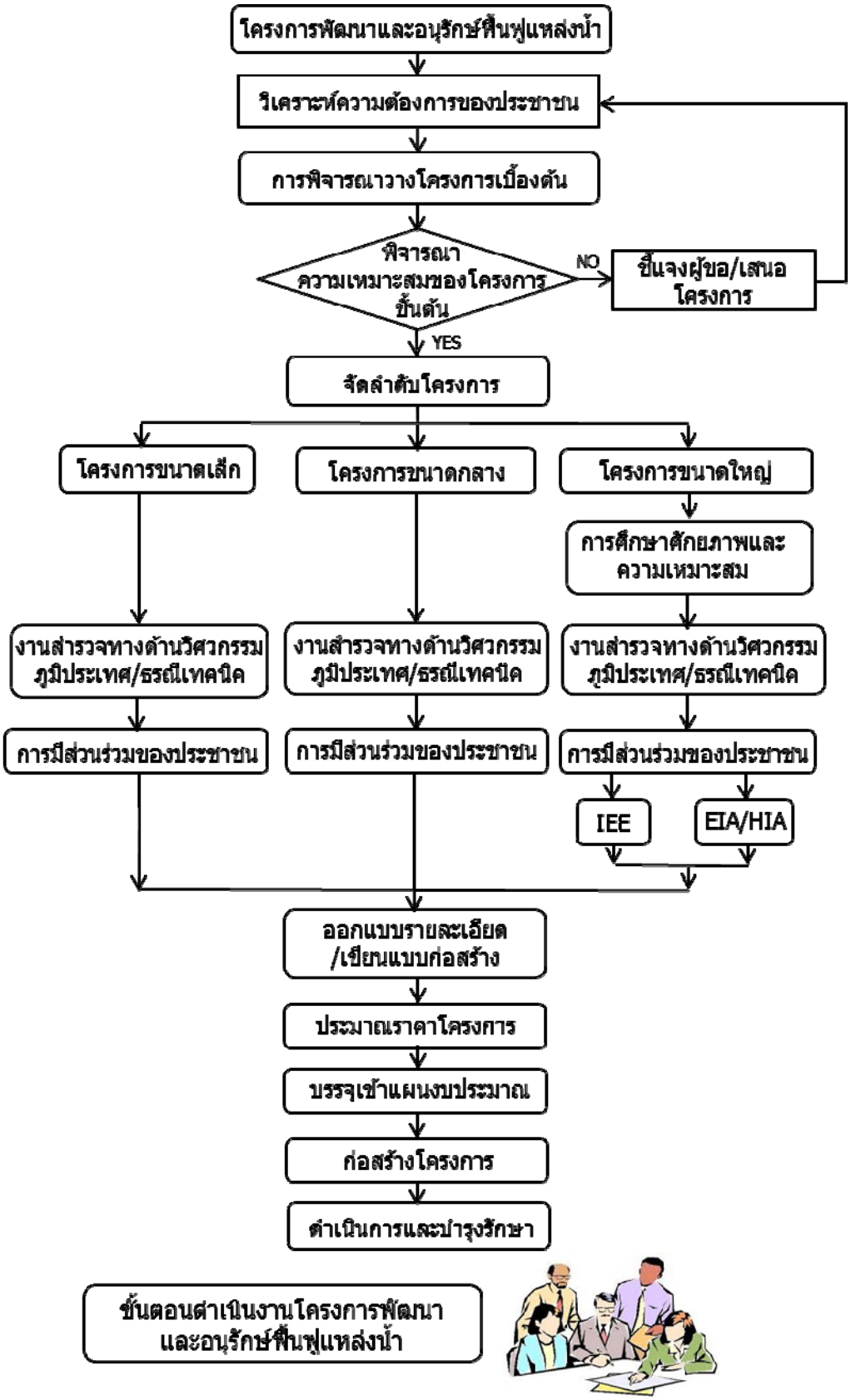
◊ **ท่อรับน้ำเข้าแปลงเพาะปลูก** เป็นอาคารซึ่งสร้างที่คลองส่งน้ำ ทำหน้าที่จ่ายและควบคุมน้ำที่จะส่งออกจากคลองส่งน้ำไปให้พื้นที่เพาะปลูก ตลอดแนวคลองส่งน้ำจะมีท่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกที่สร้างไว้เป็นระยะๆ ตามตำแหน่งซึ่งสามารถส่งน้ำออกไปได้สะดวกและทั่วถึง ท่อส่งน้ำแต่ละแห่งจะสามารถส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกได้จำนวนหนึ่ง ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกที่ท่อส่งน้ำทุกแห่งส่งไปให้ได้จะเป็นพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดที่คลองส่งน้ำนั้นๆควบคุมอยู่

ท่อรับน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูก

◊ **ระบบสูบน้ำ** เพื่อการเกษตรกรรมของพื้นที่ที่ไม่สามารถส่งน้ำได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านลักษณะภูมิประเทศคือ โครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า หรือระบบสูบน้ำเพื่อการประปาจะประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำและท่อส่งน้ำด้วยแรงดัน อาคารโรงสูบน้ำอาจเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหรือแพสูบน้ำ

สถานีสูบน้ำ

1.3 ขั้นตอนดำเนินงานโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ



1.4 แนวคิดการพัฒนา

แนวคิดการพัฒนาโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำด้วยมาตรการที่พิจารณามิติต่างๆ อย่างรอบด้านและเป็นขั้นเป็นตอน ประกอบด้วย

1) แนวทางและหลักเกณฑ์สำหรับการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ โดยกำหนดขั้นตอนในการริเริ่มและศึกษาโครงการ โดยเน้นการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ เพื่อนำไปสู่การวางแผนดำเนินโครงการ

2) การกำหนดมาตรการสำหรับแก้ไขปัญหาเป็นไปตามสภาพปัญหาของแหล่งน้ำ ที่อาจมีลักษณะแตกต่างกันจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ แต่การกำหนดกรอบมาตรการหลักสำหรับแก้ปัญหาแต่ละเรื่องควรใช้รูปแบบที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังนั้นหลักเกณฑ์และกรอบแนวทางฯ นี้ จึงกำหนดมาตรการไว้ 2 ด้าน คือ

- **มาตรการการใช้สิ่งก่อสร้าง** เป็นมาตรการที่จะต้องอาศัยการออกแบบและก่อสร้างอาคารสิ่งก่อสร้างทางวิศวกรรมเพื่อการควบคุม ป้องกันและฟื้นฟูสภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำ ทั้งนี้สิ่งก่อสร้างจะต้องเน้นความสอดคล้องกับระบบนิเวศ การดำเนินโครงการพัฒนาแหล่งน้ำประเภทหนองน้ำและบึงหากเข้าข่ายประเภท ขนาดโครงการที่ต้องดำเนินการจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 และกฎหมายหรือมติคณะรัฐมนตรีที่เกี่ยวข้อง ผู้รับผิดชอบหรือเจ้าของโครงการจะต้องดำเนินการตามที่กฎหมาย ระเบียบกำหนดไว้
- **มาตรการไม่ใช้สิ่งก่อสร้าง** เป็นการกำหนดกฎเกณฑ์ ระเบียบและการบังคับใช้กฎหมาย การสร้างมาตรการทางสังคม ตลอดจนการสร้างความรู้ความเข้าใจถึงการบริหารจัดการแหล่งน้ำแก่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในบริเวณพื้นที่แหล่งน้ำและสร้างเครือข่ายในการดูแลรักษาแหล่งน้ำอย่างเป็นรูปธรรม

3) เป้าหมาย/ผลประโยชน์ การพัฒนาโครงการมีเป้าหมายดังนี้

- ◊ ได้ระบบนิเวศที่ดีและยั่งยืน เป็นแหล่งอาหาร
- ◊ เพิ่มการเก็บกักน้ำสำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภค-บริโภค การเกษตรกรรมและอื่นๆ
- ◊ สงวนรักษาระดับน้ำและปริมาณน้ำในช่วงฤดูแล้งไม่ให้ลดต่ำจนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของสัตว์และพืชพรรณน้ำ
- ◊ แก้ไขความเสื่อมโทรม ตื้นเขินและป้องกันการบุกรุกแหล่งน้ำ
- ◊ ใช้เป็นพื้นที่แก้มลิงบรรเทาอุทกภัย
- ◊ เป็นแหล่งท่องเที่ยวและนันทนาการ

1.5 การวางโครงการ

การพิจารณาโครงการของโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ ต้องทำการตรวจสอบสภาพปัญหาสภาพพื้นที่และการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านต่างๆ จากกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชน และจัดทำรายงานการพิจารณาโครงการเบื้องต้น โดยไปสำรวจพื้นที่เป้าหมายและประสานงานกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น/ประชาชนผู้ร้องขอโครงการเป็นครั้งแรก พร้อมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลจากภาคสนามเพิ่มเติมแล้วนำมาจัดทำเป็นรายงาน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานในสำนักงานและในสนามดังนี้

งานในสำนักงาน

1) ทำความเข้าใจวัตถุประสงค์และประเด็นต่างๆ ในหนังสือร้องขอโครงการ

2) เมื่อทราบจุดที่ตั้งของพื้นที่เป้าหมายที่ขอให้ดำเนินการแล้ว ควรตรวจสอบและเก็บข้อมูลจากสถิติและข้อมูลที่หน่วยงานต่างๆ รวบรวมไว้ โดยดำเนินการตามลำดับดังนี้

●ตรวจสอบข้อมูลแหล่งน้ำธรรมชาติและแหล่งน้ำที่พัฒนาแล้วในบริเวณพื้นที่เป้าหมาย ซึ่งสามารถหาได้จากบัญชีข้อมูลและแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารหรือจาก Google Map เพื่อพิจารณาในเบื้องต้นว่ามีวิธีการใดบ้างที่จะพัฒนา อนุรักษ์ ฟื้นฟูแหล่งน้ำที่มีอยู่มาช่วยแก้ไขปัญหาในพื้นที่เป้าหมาย

●รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นที่ต้องใช้ในการศึกษาโครงการ เช่น ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลด้านอุทกวิทยาและข้อมูลด้านการใช้น้ำ เป็นต้น

. งานในสนาม

1) การเตรียมงานเบื้องต้นก่อนออกสนาม ประกอบด้วย

●พิจารณาสภาพภูมิประเทศโดยรวมของพื้นที่เป้าหมายและเส้นทางคมนาคมที่จะเข้าสู่พื้นที่ดังกล่าว จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร Digital Elevation Model(DEM)จากกรมพัฒนาที่ดินหรือจาก Google Map

●ตรวจสอบข้อมูลที่รวบรวมได้และข้อมูลที่ต้องรวบรวมเพิ่มเติมในสนาม ซึ่งสามารถช่วยให้ดำเนินการได้ง่าย โดยจัดให้มีแบบฟอร์มเพื่อตรวจสอบ และอาจใช้เป็นแบบฟอร์มเก็บข้อมูลในสนามด้วย

●อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในสนามประกอบด้วย แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่แสดงพื้นที่เป้าหมาย Digital Elevation Model(DEM)จากกรมพัฒนาที่ดินหรือจาก Google Map เข็มทิศ เครื่องตรวจสอบพิกัด (G.P.S) เครื่องวัดระยะทางหรือเทปผ้าวัดระยะทาง กล้องถ่ายรูปและแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล

2) การตรวจสอบสภาพพื้นที่ในสนาม โดยทำการตรวจสอบสภาพภูมิประเทศจริงเทียบเคียงกับแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร Digital Elevation Model(DEM)จากกรมพัฒนาที่ดินหรือจาก Google Map ที่เป็นแผนที่หลักใช้ประกอบการพิจารณาโครงการและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในพื้นที่ที่ร้องขอให้ดำเนินการก่อสร้างโครงการ และพบประชาชนในพื้นที่เป้าหมายเพื่อขอทราบข้อมูลด้านต่าง ๆ เช่น สภาพน้ำท่าของแหล่งน้ำที่จะพัฒนาเพื่อประกอบการประเมินปริมาณน้ำไหลผ่านหัวงาน สภาพเศรษฐกิจสังคม และวัฒนธรรมท้องถิ่น ตลอดจนการประกอบอาชีพเพื่อประกอบการพิจารณากำหนดประเภทและรูปแบบโครงการ และสภาพดินทางปฐพีวิทยาและธรณีวิทยา เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้น ประกอบการพิจารณาออกแบบ เป็นต้น ให้ดำเนินการดังนี้

●ไปพบผู้ร้องขอและผู้นำชุมชน เช่น กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน คณะกรรมการหมู่บ้าน หรือสมาชิก อบต. เพื่อสอบถามข้อเท็จจริงและรับทราบวัตถุประสงค์ที่ขอโครงการ สอบถามข้อมูลด้านต่าง ๆ และร่วมตรวจสอบสภาพพื้นที่เป้าหมาย โดยควรระบุชื่อผู้นำชุมชนที่ให้ข้อมูลและร่วมตรวจสอบสภาพพื้นที่ไว้ด้วย เพื่อสะดวกต่อการทำงานของทีมงานที่ดำเนินการในขั้นตอนต่อ ๆ ไป เช่น ทีมงานสำรวจ เป็นต้น

●ตรวจสอบสภาพแหล่งน้ำและสภาพพื้นที่โดยรวม สอบถามสภาพน้ำท่าของแหล่งน้ำ สภาพดินของแหล่งน้ำและบริเวณใกล้เคียงจากประชาชนในพื้นที่เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดจุดที่ตั้งโครงการและประเภทของโครงการ

●ตรวจสอบสภาพความเป็นอยู่ของประชาชนในชุมชนเขตพื้นที่โครงการ เช่น การประกอบอาชีพ การดำเนินชีวิต สังคม และวัฒนธรรม ตลอดจนศักยภาพของตนเอง เพื่อเป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการเลือกประเภทโครงการและรูปแบบของโครงการ

●สอบถามประชาชนเกี่ยวกับความเห็นในการดำเนินโครงการและกิจกรรมที่จะพัฒนาในพื้นที่ทำกินของตนเอง ภายหลังมีการก่อสร้างโครงการ เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินปริมาณความต้องการน้ำจากโครงการ และกำหนดรูปแบบและขนาดที่เหมาะสมของโครงการ ตลอดจนผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

●ตรวจสอบแนวเขตที่ดินสาธารณะ/สอบถามประชาชนเจ้าของที่ดินที่จะใช้ก่อสร้างโครงการ เพื่อรับทราบปัญหาเกี่ยวกับที่ดินที่จะใช้ก่อสร้างโครงการเป็นข้อมูลให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

●ตรวจสอบสภาพพื้นที่ว่าอยู่ในเขตป่าเพื่อการอนุรักษ์หรือไม่

การใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

ในเบื้องต้นผู้ออกแบบโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ สามารถใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ร่วมกับ Digital Elevation Model(DEM)จากกรมพัฒนาที่ดินหรือ Google Map เพื่อดูความสูงต่ำของภูมิประเทศด้วยเส้นชั้นความสูง แนวลำน้ำ ทิศทางการไหลและสภาพโดยทั่วไปของพื้นที่โครงการ ใช้แผนที่ประกอบการพิจารณาวางโครงการเบื้องต้น กำหนดที่ตั้งที่เหมาะสมของโครงการและอาคารบังคับน้ำต่างๆ ตลอดจนวิธีการส่งน้ำไปยังพื้นที่รับประโยชน์ ข้อมูลที่หาได้จากแผนที่ เช่น พื้นที่รับน้ำฝน ความยาวลำน้ำ ความลาดชันของลำน้ำ การใช้ที่ดินและข้อมูลอื่นๆ เป็นต้น สามารถนำไปวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลน้ำฝนเพื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำนองสูงสุดสำหรับใช้ในการออกแบบได้

เกณฑ์การพิจารณาวางโครงการประกอบด้วยเกณฑ์ดังนี้

1) กำหนดขอบเขตแหล่งน้ำให้ชัดเจน เพื่อการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์ โดยใช้มาตรการทางกฎหมาย แรงจูงใจและส่งเสริมให้มีการปฏิบัติ เช่น ออกหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวง เป็นต้น

2) จัดแบ่งพื้นที่อนุรักษ์และพื้นที่ขุดลอก ควรสำรวจระบบนิเวศภายในพื้นที่ชุ่มน้ำก่อนการกำหนดขอบเขตที่จะขุดลอก เช่นการวางไข่ของปลา แหล่งที่พักอาศัยของนกน้ำ ความหลากหลายของชนิดพันธุ์พืชและสัตว์ เป็นต้น เพื่อกำหนดเป็นพื้นที่อนุรักษ์และไม่ทำการขุดลอก พื้นที่ขุดลอกควรเป็นพื้นที่ซึ่งมีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำ ซึ่งอาจกำหนดให้ขุดลอกรอบบริเวณพื้นที่อนุรักษ์

3) สำรวจลักษณะชั้นดิน เพื่อกำหนดระดับความลึกของการขุดลอกที่เหมาะสม และควรขุดลอกแบบลาดเอียง ไม่ขุดให้เป็นท้องแบนราบ

4) กำหนดระดับเก็บกักและระดับน้ำต่ำสุดในหนองน้ำ เพื่อให้มีปริมาณน้ำใช้การที่จะนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภค การเกษตรกรรมและอื่นๆตามความเหมาะสม และคงปริมาณน้ำไว้หล่อเลี้ยงระบบนิเวศในฤดูแล้ง โดยรักษาระดับน้ำต่ำสุดในฤดูแล้งให้สูงกว่าระดับท้องน้ำที่ขุดลอกไม่น้อยกว่า 1 เมตร

5) ต้องไม่มีการบุกรุกพื้นน้ำหรือถมที่เพิ่มเติม เข้าไปในพื้นที่ชุ่มน้ำ หากมีการก่อสร้างสะพานดูพันธุ์พืชน้ำและพันธุ์ปลา ควรเป็นโครงสร้างขนาดเล็ก กลมกลืนกับธรรมชาติและก่อสร้างบริเวณขอบพื้นที่ชุ่มน้ำเท่านั้น

6) เสริมสร้างการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ทั้งภาครัฐ ภาคประชาชนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ใกล้เคียงแหล่งน้ำ

7) กำหนดความต้องการใช้น้ำ ของกลุ่มอาชีพต่าง ๆ รอบแหล่งน้ำ เพื่อให้สามารถจัดสรรการใช้ทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับสมดุลธรรมชาติ

8) ต้องจำกัดการก่อสร้างถนนหรือคันดินล้อมรอบแหล่งน้ำ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อระบบการไหลเวียนของน้ำและการบุกรุกพื้นที่เพิ่มเติม

9) การวางแผนการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ จะต้องอยู่บนพื้นฐานของการรักษาสมดุลนิเวศและตระหนักว่าฐานทรัพยากรเป็นทรัพย์สินร่วมกันของสังคม

10) การวางแผนการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ ให้คำนึงถึงมิติทางศิลปะ วัฒนธรรมท้องถิ่นตลอดจนวิถีชีวิตและสังคมท้องถิ่น

1.6 การศึกษาและกำหนดลักษณะโครงการ

การศึกษาและกำหนดลักษณะโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ ขึ้นอยู่กับสภาพทางกายภาพของพื้นที่ ความต้องการของประชาชนและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งประเภทของแหล่งน้ำที่จะพัฒนาและฟื้นฟู แนวคิดการดำเนินการประกอบด้วยลักษณะงาน/กิจกรรม สรุปได้ดังนี้

◊ งานกันเขตป้องกันการบุกรุก โดยใช้รั้วธรรมชาติ

◊ งานเพิ่มประสิทธิภาพการรองรับน้ำ เช่น การเก็บกักน้ำ การระบายน้ำ เป็นต้น โดยการขุดลอกและปรับปรุงระบบการหมุนเวียนของน้ำ เพื่อรักษาคุณภาพน้ำและระบบนิเวศ โดยขุดลอกให้มีการเชื่อมต่อของน้ำ ก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำ ได้แก่ อาคารรับน้ำเข้าและอาคารระบายน้ำในตำแหน่งที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและแหล่งน้ำ

◊ งานจัดแบ่งพื้นที่(Zoning) เป็นพื้นที่พัฒนา/กิจกรรม พื้นที่ฟื้นฟูและพื้นที่อนุรักษ์

◊ งานปรับปรุงภูมิทัศน์ ที่สอดคล้องกับวัฒนธรรมของท้องถิ่น

◊ งานกำจัดวัชพืชเท่าที่จำเป็น คงบางส่วนไว้รักษาระบบนิเวศ

◊ งานป้องกันการกัดเซาะ โดยใช้วัสดุท้องถิ่นหรือวัสดุที่กลมกลืนกับธรรมชาติและสภาพแวดล้อม เช่นใช้หินเรียงหรือปลูกหญ้าแทนโครงสร้างคอนกรีต เป็นต้น

◊ งานอาคารควบคุมระบบน้ำทั้งน้ำไหลเข้า ไหลออกและการใช้ประโยชน์ ที่มีการดำเนินการและดูแลรักษาได้ง่าย มีค่าใช้จ่ายต่ำ

◊ งานอนุรักษ์รักษาสมดุลระบบนิเวศ

◊ งานพิจารณางานอื่นๆที่เหมาะสมและจำเป็นสำหรับพื้นที่โครงการ ได้แก่ งานระบบระบายน้ำป้องกันน้ำท่วมขังพื้นที่รอบแหล่งน้ำ งานระบบกระจายน้ำเพื่อพื้นที่เกษตรกรรมรอบแหล่งน้ำ งานระบบควบคุมการระบายน้ำเสียจากชุมชน/ปศุสัตว์ลงแหล่งน้ำ งานบันไดลงแหล่งน้ำเพื่อการเข้าถึงและใช้ประโยชน์

ลักษณะของโครงการที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย

1) ฝายต้นน้ำ ตามแนวพระราชดำริในการก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธาร เพื่อสร้างความชุ่มชื้นดักตะกอนดินเก็บกักน้ำ ซึ่งหากสามารถเก็บกักน้ำได้ปริมาณมากพอ ก็สมควรที่จะกระจายน้ำออกไปรอบ ๆ พื้นที่บริเวณฝายเพื่อสร้างความชุ่มชื้นให้กับพื้นที่ต้นน้ำ ดังนั้นในการก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธารแต่ละชนิด จึงมีวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไปด้วย ซึ่งรูปแบบของฝายต้นน้ำลำธาร หรือ Check Dam ตามแนวพระราชดำริ มี 3 รูปแบบ คือ

(1) ฝายต้นน้ำลำธารแบบท้องถิ่นเบื้องต้น (แบบผสมผสาน) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “ฝายแม้ว” เป็นการก่อสร้างด้วยวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ เช่น กิ่งไม้ ไม้ล้มขอนนอนไพร ขนาบด้วยก้อนหินขนาดต่าง ๆ ในลำห้วย ซึ่งเป็นการก่อสร้างแบบง่าย ๆ ก่อสร้างในบริเวณตอนบนของลำห้วยหรือร่องน้ำ ซึ่งจะสามารถดักตะกอนชะลอการไหลของน้ำ และเพิ่มความชุ่มชื้นบริเวณรอบฝายได้เป็นอย่างดี วิธีการนี้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยมาก หรืออาจไม่มีค่าใช้จ่ายเลย นอกจากแรงงานเท่านั้น ซึ่งการก่อสร้างฝายต้นน้ำลำธารแบบท้องถิ่นเบื้องต้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

- ก่อสร้างด้วยท่อนไม้ขนาบด้วยหิน
- ก่อสร้างด้วยท่อนไม้ขนาบด้วยถุงบรรจุดินหรือทราย
- ก่อสร้างด้วยคอกหมูแกนดินอัดขนาบด้วยหิน
- ก่อสร้างแบบเรียงด้วยหินแบบง่าย
- ก่อสร้างแบบคอกหมูหินทิ้ง
- ก่อสร้างด้วยคอกหมูถุงทรายซีเมนต์
- ก่อสร้างแบบหลักคอนกรีตหินทิ้ง
- ก่อสร้างแบบถุงทรายซีเมนต์
- ก่อสร้างแบบคันดิน
- ก่อสร้างแบบหลักไม้ไผ่สานขัดกันอันเป็นภูมิปัญญาชาวบ้าน

ฝายต้นน้ำลำธารแบบท้องถิ่น

(2) ฝายต้นน้ำลำธารแบบเรียงด้วยหินค่อนข้างถาวร(แบบกึ่งถาวร) ก่อสร้างด้วยหินเรียงเป็นพนังกั้นน้ำ สร้างบริเวณตอนกลางและตอนล่างของลำห้วยหรือร่องน้ำจะสามารถดักตะกอนและเก็บกักน้ำในช่วงฤดูแล้งได้บางส่วน

ฝายต้นน้ำลำธารแบบกึ่งถาวร

(3) ฝายต้นน้ำลำธารแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (แบบถาวร) เป็นการก่อสร้างแบบถาวรส่วนมากจะดำเนินการในบริเวณตอนปลายของลำห้วยหรือร่องห้วยจะสามารถดักตะกอนและเก็บกักน้ำในฤดูแล้งได้ดี

ฝายต้นน้ำลำธารแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

การใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ เมื่อมีการก่อสร้างฝายต้นน้ำแบบกึ่งถาวรหรือถาวรและมีน้ำไหลตลอดปีหรือเกือบตลอดปี สามารถนำน้ำมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภคและการประกอบอาชีพของประชาชนได้ องค์ประกอบที่สำคัญของโครงการ ประกอบด้วย

- ฝายต้นน้ำ
- ระบบท่อชักน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงจากหน้าฝายถึงถังเก็บน้ำสำรอง ซึ่งมักถูกเรียกว่า “ประปาภูเขา”กรณีที่ใช้ท่อ HDPE หรือ PVC อยู่กลางแจ้ง ต้องมีฐานรองรับทุก 2 ม.

ฝายต้นน้ำพร้อมท่อชักน้ำ

- ระบบกระจายน้ำในพื้นที่รับประโยชน์ ควรเป็นระบบท่อเพื่อประหยัดน้ำ

บ่อเก็บน้ำสำรอง

2) ห้วย เป็นทางน้ำไหลหลากบริเวณพื้นที่ราบหรือพื้นที่ลุ่ม เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เมื่อมีการตกทับถมของตะกอนดิน ประสิทธิภาพการระบายน้ำจะลดลง ทำให้การไหลบ่าล้นตลิ่งของน้ำหลากเกิดถี่ขึ้น การฟื้นฟูสภาพลำน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำหลากและเก็บกักน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง ประกอบด้วย

(1) โครงการปรับปรุงลำห้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำ โดยการขุดลอกตะกอนดินด้วยวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งการออกแบบขุดลอกต้องคำนึงถึงพฤติกรรมของการไหล การป้องกันการกัดเซาะและเสถียรภาพของลาดตลิ่ง ประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาประกอบด้วย

◊ ด้านอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำนองสูงสุดและรอบปีการเกิด(Return Period) เป็นต้น

◊ ด้านชลศาสตร์ของการไหล เช่น ความเร็วกระแสน้ำ ประสิทธิภาพของการไหล สิ่งกีดขวางและผลกระทบจากอาคารชลศาสตร์หรือโครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีอยู่เดิม เป็นต้น

◊ ด้านเศรษฐกิจ-สังคม เช่น ความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สิน ผลกระทบทางด้านจิตใจ เป็นต้น

◊ ด้านการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ เช่น การกัดเซาะและพังทลายของตลิ่ง รักษาเกาะแก่งซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ เป็นต้น

มีองค์ประกอบของโครงการที่ตอบสนองความต้องการของท้องถิ่นในหลายมิติ เช่น

- ถนนลำเลียงผลผลิตทางการเกษตรทั้ง 2 ข้างของลำห้วย

ถนนลำเลียงผลผลิต

- ทางน้ำล้นข้าม(Wet Crossing) ที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและธรณีเทคนิค ทำให้รถขนาดเล็กสามารถข้ามได้ในเวลาปกติที่ไม่มีน้ำไหลหลาก ช่วยเก็บกักในน้ำลำห้วยไว้ใช้ในฤดูแล้ง

ทางน้ำล้นข้าม

- ท่อลอดใต้ทางน้ำล้นข้าม(Wet Crossing) พร้อมอาคารสลายพลังงานที่เหมาะสม มีประตูปากท่อที่สามารถเปิดปิด เมื่อต้องการเก็บกักน้ำและระบายน้ำได้

ท่อลอดใต้ทางน้ำล้นข้าม

(2) โครงการก่อสร้างฝายน้ำล้น เพื่อทำหน้าที่เก็บกักในลำห้วย ยกระดับน้ำเพื่อผันน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูก สามารถระบายน้ำส่วนเกินให้ล้นข้ามสันฝายลงไปยังท้ายน้ำได้ การออกแบบฝายน้ำล้นจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศและสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำที่สุด ประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาประกอบด้วย

◊ ด้านอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำนองสูงสุดและรอบปีการเกิด(Return Period) เป็นต้น

◊ ด้านชลศาสตร์ของการไหล เช่น ระดับน้ำท่วมสูงสุด ระดับเก็บกักและผลกระทบจากอาคารชลศาสตร์หรือโครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีอยู่เดิม เป็นต้น

◊ ด้านเศรษฐกิจ-สังคม เช่น ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการพัฒนาโครงการทั้งการอุปโภค บริโภค และการเกษตรกรรม เป็นต้น

ฝายนำล้นแบบสันหยัก(Labyrinth Weir)

(3) โครงการก่อสร้างระบบกระจายน้ำ เพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำเช่น ฝายน้ำล้น หนองน้ำ เป็นต้น ไปสู่พื้นที่เพาะปลูกให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของพืช ระบบกระจายน้ำจะมีทั้งระบบปิด ได้แก่ ระบบท่อส่งน้ำ ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ภายใต้แรงดัน และระบบเปิด ได้แก่ ระบบคลองส่งน้ำ ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ทั้งนี้ขนาดของทางน้ำจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับขนาดของพื้นที่เพาะปลูก ประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาประกอบด้วย

◊ ด้านอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำต้นทุน ค่าการคายระเหยของพืช เป็นต้น

◊ ด้านชลประทาน เช่น พื้นที่เพาะปลูก ชนิดของพืชที่ปลูก ปฏิทินการเพาะปลูกพืช สัมประสิทธิ์พืช(K_c) ประสิทธิภาพการชลประทานและความต้องการน้ำชลประทาน เป็นต้น

◊ ด้านชลศาสตร์ของการไหล เช่น ปริมาณน้ำออกแบบ อาคารอัดน้ำ อาคารสลายพลังงาน เป็นต้น

◊ ด้านเศรษฐกิจ-สังคม เช่น ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการพัฒนาโครงการทั้งการอุปโภค บริโภค และการเกษตรกรรม เป็นต้น

ระบบกระจายน้ำ

3) บึง กุดหรือหนองน้ำ บึงเป็นแหล่งน้ำขนาดกลางหรือใหญ่ที่มีน้ำท่วมขังตลอดปี มีเขตน้ำลึก กุดเกิดจากซากของทางน้ำเก่าที่สายน้ำปัจจุบันเปลี่ยนทางเดินไป ลักษณะเป็นแนวร่องน้ำยาว ที่ปลายสุดทั้งสองข้างไม่เชื่อมต่อกับแนวลำน้ำใหม่ ส่วนหนองน้ำนั้นน้ำตื้นๆ ขนาดเล็กมีความลาดชันน้อย ไม่มีเขตน้ำลึก การฟื้นฟูสภาพเพื่อการอนุรักษ์และเก็บกักน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง โดยการขุดลอกตะกอนดินด้วยวิธีการที่เหมาะสมและทำให้สภาพแหล่งน้ำสมบูรณ์ขึ้น

โครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำธรรมชาติประเภทหนอง บึง แบ่งออกเป็น 3 ขนาดคือ

1) โครงการขนาดเล็กมีพื้นที่ต่ำกว่า 100 ไร่ กรมทรัพยากรน้ำ จะให้การสนับสนุนโครงการฯที่มีขนาดตั้งแต่ 50 - 100 ไร่ กรณีที่มีการร้องขอการสนับสนุนจากท้องถิ่น ซึ่งกิจกรรมที่ต้องดำเนินการคือ การสำรวจความเหมาะสมเบื้องต้น การสำรวจออกแบบรายละเอียดโครงการฯและการก่อสร้างโครงการฯ

2) โครงการขนาดกลางพื้นที่ 100 - 250 ไร่ กิจกรรมที่ต้องดำเนินการคือ การสำรวจออกแบบรายละเอียดโครงการฯและกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนและการก่อสร้างโครงการฯ

3) โครงการขนาดใหญ่พื้นที่มากกว่า 250 ไร่ กิจกรรมที่ต้องดำเนินการควบคู่กับกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนคือ การศึกษาศักยภาพและความเหมาะสม การสำรวจออกแบบรายละเอียดโครงการฯ การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น(IEE) การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม(EIA)ควบคู่กับการศึกษาผลกระทบด้านสุขภาพ(HIA)แล้วแต่กรณีและการก่อสร้างโครงการฯ

ต้องพิจารณาองค์ประกอบของโครงการให้รอบด้าน ประกอบด้วย

- การกำหนดขอบเขตของแหล่งน้ำที่ชัดเจน ประกอบด้วยส่วนของพื้นที่อนุรักษ์และส่วนของพื้นที่พัฒนา โดยความร่วมมือขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
- ทางรับน้ำเข้าแหล่งน้ำในตำแหน่งที่เหมาะสม
- ระบบควบคุมการระบายน้ำเสียจากชุมชน/ปศุสัตว์ลงแหล่งน้ำ(ถ้าจำเป็น)
- ระบบระบายน้ำป้องกันน้ำท่วมขังพื้นที่รอบแหล่งน้ำ(ถ้าจำเป็น)

ทางรับน้ำเข้าและบันไดลงแหล่งน้ำ

- ระบบกระจายน้ำเพื่อพื้นที่เกษตรกรรมรอบแหล่งน้ำ(ถ้าจำเป็น)
- บันไดลงแหล่งน้ำ เพื่อการเข้าถึงและใช้ประโยชน์

ทางระบายน้ำล้นจากแหล่งน้ำ

- ทางระบายน้ำล้นจากแหล่งน้ำลงทางน้ำเดิมหรือพื้นที่ต่ำ
- พื้นที่ปรับภูมิทัศน์และอาคารประกอบ
- ถนนทางเข้า

ถนนทางเข้าโครงการ

1.7 การพิจารณาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการ

การพิจารณาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ ขึ้นอยู่กับดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญตามประเภทของแหล่งน้ำที่จะฟื้นฟูและพัฒนา ดังนี้

1) โครงการก่อสร้างฝายต้นน้ำ ดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญ เช่น

- ความต้องการฝายต้นน้ำในพื้นที่ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีฝาย
- ความถี่ของฝายต้นน้ำที่มีอยู่ในลำห้วยหรือร่องน้ำในปัจจุบัน
- สภาพการใช้งานของฝายต้นน้ำที่มีอยู่เดิม

2) โครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาลำห้วย ประกอบด้วย

(1) โครงการปรับปรุงลำห้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำ ดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญ เช่น

- สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการ
- ประสิทธิภาพการระบายน้ำหลากของลำห้วยที่ลดลง
- ความถี่ของการเกิดอุทกภัย

- ผลกระทบจากการกัดเซาะและพังทลายของตลิ่ง
- ขอบเขตของลำห้วยทั้ง 2 ฝั่งและปัญหาการรุกล้ำลำห้วย
- ความถี่หรือระยะห่างของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำในลำห้วยที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- การใช้ที่ดินในพื้นที่โครงการ
- สภาพของดินฐานราก เพื่อพิจารณาเกี่ยวกับการรับน้ำหนักและการรั่วซึมของชั้นดิน
- จำนวนประชาชนหรือพื้นที่ใช้ประโยชน์จากน้ำในลำห้วย
- ความจำเป็นของทางลำเลียงผลผลิตทางการเกษตร
- สภาพเศรษฐกิจและสังคมของชุมชน
- ความเสียหายในชีวิตและทรัพย์จากอุทกภัย
- ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาโครงการ
- พิกัดตำแหน่งที่ทิ้งดิน

(2) โครงการก่อสร้างฝายน้ำล้น ดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญ เช่น

- สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการ
- ขอบเขตของลำห้วยทั้ง 2 ฝั่งและปัญหาการรุกล้ำลำห้วย
- สามารถส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก
- ความถี่หรือระยะห่างของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำในลำห้วยที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- การใช้ที่ดินในพื้นที่โครงการ
- สภาพของดินฐานราก เพื่อพิจารณาเกี่ยวกับการรับน้ำหนักและการรั่วซึมของชั้นดิน
- จำนวนประชาชนหรือพื้นที่รับประโยชน์
- สภาพเศรษฐกิจและสังคมของชุมชน
- ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาโครงการ

(3) โครงการก่อสร้างระบบกระจายน้ำ ดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญ เช่น

- สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการ
- การใช้ที่ดินในพื้นที่โครงการ
- ปริมาณน้ำต้นทุน
- จำนวนประชาชนหรือพื้นที่รับประโยชน์
- สภาพเศรษฐกิจและสังคมของชุมชน
- ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาโครงการ

3) โครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาบึง กุดหรือหนองน้ำ ดัชนีบ่งชี้ที่สำคัญ ประกอบด้วย

- สภาพภูมิประเทศบริเวณพื้นที่โครงการ
- ความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศ
- ขอบเขตของบึง กุดหรือหนองน้ำและปัญหาการรุกล้ำแหล่งน้ำ
- การใช้ที่ดินในพื้นที่โครงการ
- สภาพของดินฐานราก เพื่อพิจารณาเกี่ยวกับการรับน้ำหนักและการรั่วซึมของชั้นดิน
- จำนวนประชาชนหรือพื้นที่ใช้ประโยชน์จากน้ำในบึง กุดหรือหนองน้ำ
- ความจำเป็นของทางลำเลียงผลผลิตทางการเกษตร
- สภาพเศรษฐกิจและสังคมของชุมชน

- ผลกระทบที่เกิดจากประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำของแหล่งน้ำที่ลดลง
- ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาโครงการ
- พิกัดตำแหน่งที่ทิ้งดิน

1.8 เกณฑ์การพิจารณาที่ตั้งขององค์ประกอบโครงการ

ที่ตั้งขององค์ประกอบโครงการที่สำคัญจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตำแหน่งที่ตั้งมีความปลอดภัยต่อตัวอาคารในทุกกรณี ทั้งในระหว่างก่อสร้างและภายหลังก่อสร้างแล้วเสร็จและใช้งาน

1) ประตูระบายน้ำ(Regulator) เกณฑ์ทั่วไปในการกำหนดที่ตั้งมีดังนี้

(1) อาคารประตูระบายน้ำ ควรสร้างในลำน้ำเดิมช่วงที่มีแนวตรง โดยยาวไปทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของตัวฝาย ด้านละไม่น้อยกว่า 50 เมตร เพื่อป้องกันน้ำกัดเซาะตลิ่ง ถ้าเป็นประตูระบายน้ำขนาดใหญ่ใช้เวลาก่อสร้างมาก ควรก่อสร้างในช่องลัดบนดินเดิมของลำน้ำช่วงมีแนวโค้ง

(2) ตลิ่งของลำน้ำควรมีความมั่นคงแข็งแรงดี ไม่ถูกน้ำกัดเซาะได้ง่าย

(3) เป็นบริเวณที่สูงสามารถผันน้ำเข้าคูส่งน้ำที่ขุดแยกออกจากหน้าประตูด้วยแรงโน้มถ่วงให้พื้นที่เกษตรกรรมได้โดยสะดวก ไม่ต้องมีอาคารพิเศษ เช่น รางน้ำและอุโมงค์ เป็นต้น

(4) ควรก่อสร้างบริเวณที่เป็นดินขุดและเป็นดินที่ป้องกันการรั่วซึมได้ดี ไม่ควรก่อสร้างบนดินถมสูงเพราะอาจจะทำให้คอนกรีตที่เป็นโครงสร้างประตูเกิดการเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของดินถมใต้ฐานประตู

(5) เป็นบริเวณที่ไม่สามารถสร้างฝายน้ำล้นได้ เพราะทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่ 2 ฝั่งด้านเหนือน้ำสูงมากเกินไปหรือเมื่อสร้างฝายแล้วอาจทำให้ลำน้ำเปลี่ยนทางเดินได้โดยง่าย

(6) อยู่ท้ายจุดบรรจบของทางน้ำ 2 สายยิ่งดี จะสามารถเก็บกักน้ำในลำน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งได้มาก

2) อาคารฝายน้ำล้น(Weir) เกณฑ์ทั่วไปในการกำหนดที่ตั้งมีดังนี้

(1) อาคารฝายน้ำล้นขนาดเล็กใช้เวลาก่อสร้างสั้นควรสร้างในลำน้ำเดิมช่วงที่มีแนวตรง โดยยาวไปทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของตัวฝาย ด้านละไม่น้อยกว่า 50 เมตร เพื่อป้องกันน้ำกัดเซาะตลิ่ง ถ้าเป็นฝายน้ำล้นขนาดใหญ่ใช้เวลาก่อสร้างมากควรก่อสร้างในช่องลัดบนดินเดิมของลำน้ำช่วงมีแนวโค้ง

(2) ตลิ่งของลำน้ำควรมีความมั่นคงแข็งแรงดี ไม่ถูกน้ำกัดเซาะได้ง่าย

(3) เป็นบริเวณที่สูงสามารถผันน้ำเข้าคูส่งน้ำที่ขุดแยกออกจากหน้าฝายด้วยแรงโน้มถ่วงให้พื้นที่เกษตรกรรมได้โดยสะดวก ไม่ต้องมีอาคารพิเศษ เช่น รางน้ำและอุโมงค์ เป็นต้น

(4) ควรก่อสร้างบริเวณที่เป็นดินขุดและเป็นดินที่ป้องกันการรั่วซึมได้ดี ไม่ควรก่อสร้างบนดินถมสูงเพราะอาจจะทำให้คอนกรีตที่เป็นโครงสร้างฝายเกิดการเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของดินถมใต้ฐานฝาย

(5) เป็นบริเวณที่สามารถสร้างฝายได้โดยไม่ทำให้น้ำท่วมพื้นที่ 2 ฝั่งด้านเหนือน้ำของฝายสูงมากเกินไปหรือเมื่อสร้างฝายแล้วไม่ทำให้ลำน้ำเปลี่ยนทางเดินได้โดยง่าย

(6) อยู่ท้ายจุดบรรจบของทางน้ำ 2 สายยิ่งดี จะสามารถเก็บกักน้ำในลำน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งได้มาก

3) อาคารทางรับน้ำเข้า(Inlet Structures) เกณฑ์ทั่วไปในการกำหนดที่ตั้งมีดังนี้

(1) อาคารทางรับน้ำเข้าหลักและอาคารทางรับน้ำเข้ารองควรตั้งอยู่ในตำแหน่งมีความเหมาะสมทางด้านชลศาสตร์ เพื่อประสิทธิภาพของการรับน้ำและลดผลกระทบด้านการก่อสร้าง อาคารทางรับน้ำเข้ารองควรตั้งตรงกับทางน้ำเล็กๆที่ไหลลงหนองน้ำหรือหากพื้นที่รอบนอกเป็นที่ราบ ควรก่อสร้างอาคารทางรับน้ำเข้ารองทุกระยะประมาณ 250 เมตร ใต้คันดินถม

(2) ทำให้อาคารทางรับน้ำเข้ามีความยาวสั้นที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อประหยัดค่าก่อสร้าง

(3) อาคารทั้งหมดโดยเฉพาะส่วนที่เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ควรกำหนดให้วางอยู่บนดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำอาคารโดยไม่เกิดการทรุดตัว

4) อาคารระบายน้ำล้น(Wet Crossing) หรือทางน้ำผ่านถนนที่ก่อสร้างขวางทางน้ำธรรมชาติแล้วสามารถให้น้ำไหลมาล้นข้ามไปได้ เป็นฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูบางครั้งเรียกว่าฝายสันแบน สามารถให้รถยนต์ขนาดเล็กหรือรถทางการเกษตรข้ามได้(ลาดเอียงด้านข้างตรงสันฝายประมาณ 1:8) เกณฑ์ทั่วไปในการกำหนดที่ตั้งมีดังนี้

(1) สภาพภูมิประเทศควรเป็นที่ราบหรือลาดเทเล็กน้อย เป็นลำน้ำเล็กๆและตื้น พื้นที่รับน้ำฝนขนาดเล็ก มีน้ำหลากไหลบ่าเป็นครั้งคราว เกิดขึ้นไม่นานและความลึกของน้ำไม่เกิน 2.0 ม.

(2) ลักษณะชั้นดินบริเวณที่ก่อสร้าง ควรเป็นดินที่มีความมั่นคงแข็งแรงและสามารถต้านทานการกัดเซาะของกระแสน้ำได้ดี เช่น ดินเหนียว ดินเหนียวปนกรวด กรวดหยาบและลูกรัง เป็นต้น ไม่ควรเป็นดินที่น้ำกัดเซาะง่าย เช่น ทรายและตะกอนทรายละเอียด เป็นต้น

(3) ความสูงของ Wet Crossing ระดับสันทางน้ำผ่านถนนไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำต่ำสุดของลำน้ำเกิน 3.00 ม. เพื่อไม่ให้น้ำไหลแรงเกินไป จนกัดเซาะพื้นลำน้ำด้านท้ายน้ำจนเสียหาย

5) อาคารระบายน้ำล้น(Service Spillway) โดยทั่วไปจะต้องพิจารณาสามารถระบายน้ำหลากที่กำหนดได้อย่างปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวอาคาร เกณฑ์ทั่วไปในการกำหนดที่ตั้งมีดังนี้

(1) ควรมีความเหมาะสมทางด้านชลศาสตร์ เพื่อประสิทธิภาพของการระบายน้ำและลดผลกระทบด้านการก่อสร้าง

(2) ชนิดของอาคารน้ำล้นจะต้องเหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ และส่วนของอาคารต้องมีน้ำหนักเพียงพอที่จะสามารถต้านการลอยตัวเนื่องจากแรงยกของน้ำ (Uplift Pressure)

(3) แนวที่กำหนดควรมีระยะความยาวของอาคารสั้นสุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อประหยัดค่าก่อสร้าง

(4) อาคารทั้งหมดโดยเฉพาะส่วนที่เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะกำหนดให้วางอยู่บนดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำอาคารโดยไม่เกิดการทรุดตัว

6) งานขุดลอก(Excavation) การออกแบบขุดลอกหนอง บึง กำหนดความลึกและลาดเอียงด้านข้างที่เหมาะสมเป็นไปตามชนิดของดินขุด เมื่อขุดแล้วควรมีความลึกของน้ำที่ระดับเก็บกัก 2.5 – 4.0 เมตรและควรเว้นพื้นที่ระหว่างงานขุดลอกและคันดินถมรอบแหล่งน้ำไว้สำหรับเป็นชาน(Berm) เพื่อเพิ่มความมั่นคงกว้าง 4 - 10 เมตร ระดับเก็บกักน้ำควรกำหนดไว้เท่ากับหรือใกล้เคียงกับระดับพื้นดินธรรมชาติบริเวณขอบหนองน้ำ ส่วนการขุดลอกลำห้วย การออกแบบกำหนดความลึก ความคดเคี้ยว(Meandering) ลาดเอียงด้านข้างและความลาดชันของทางน้ำที่เหมาะสมเป็นไปตามชนิดของดินและชลศาสตร์การไหลของทางน้ำ

กรณีที่ทางน้ำมีความลาดชันสูงอาจต้องมีอาคารควบคุมความเร็วกระแสน้ำในตำแหน่งที่จำเป็น ควรเก็บรักษาต้นไม้ใหญ่หรือต้นไม้สำคัญที่ช่วยลดการกัดเซาะตลิ่งของลำน้ำ โดยลำน้ำที่มีความลึกมากกว่า 5 เมตร ควรมีพื้นที่สำหรับเป็นชาน(Berm)ที่กึ่งกลางของลาดเอียงด้านข้าง เพื่อเพิ่มความมั่นคงของลาดตลิ่งกว้างไม่น้อยกว่า 3 เมตร รวมทั้งมีมาตรการป้องกันการกัดเซาะและเสริมเสถียรภาพของลาดเอียงตลิ่งในตำแหน่งที่จำเป็นโดยใช้วัสดุธรรมชาติเช่นหินใหญ่ ไม้และหญ้า เป็นลำดับแรก ควรตรวจสอบขนาดของก้อนหินให้สามารถต้านทานความเร็วของกระแสน้ำได้ เรียงหินให้มีส่วนคละและความหนาที่เหมาะสม โดยเรียงให้หินก้อนโตกว่าอยู่ข้างบน หินเรียงควรมีชั้นวัสดุรองพื้นด้วย หากไม่สามารถหาหินใหญ่ได้อาจพิจารณาใช้หินบรรจุในกล่องลวดตาข่ายหรือคอกไม้ โดยหินต้องมีส่วนคละขนาด 0.30-0.15 เมตร หากจำเป็นจึงใช้โครงสร้างคอนกรีตและมีอัตราส่วนความปลอดภัย(Factor of Safety) ที่เหมาะสม

7) คันดินถม(Dike) เกณฑ์ทั่วไปในการก่อสร้างคันดินรอบหนองน้ำใช้เป็นทางสัญจรและขนส่งพืชผลทางการเกษตร(ถ้าจำเป็น) คันดินถมควรสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดไม่เกิน 1.0 – 1.5 เมตรและควรก่อสร้างคูระบายน้ำที่เชิงลาดด้านนอกของคันดินถม โดยขุดลึกจากระดับดินธรรมชาติ 1.0 – 1.5 เมตร เพื่อเสริมระบบระบายน้ำป้องกันน้ำท่วมขังพื้นที่รอบแหล่งน้ำและสะดวกในการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ ส่วนคันดินถมที่ก่อสร้างบนตลิ่งของลำห้วย ควรเว้นพื้นที่ระหว่างขอบตลิ่งและคันดินถมไว้สำหรับเป็นชาน(Berm) เพื่อเพิ่มความมั่นคงของลาดตลิ่งกว้างไม่น้อยกว่า 4.0 เมตรและยังสามารถใช้ทางระบายน้ำหลากได้อีกด้วย

1.9 เกณฑ์การจัดลำดับโครงการ

การจัดลำดับโครงการที่มีศักยภาพของโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบโครงการภายในพื้นที่สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค โดยหลักเกณฑ์ในการจัดลำดับสามารถพิจารณาจากตัวแปรในด้านต่างๆ 5 ด้าน ประกอบด้วย ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านเศรษฐกิจ-สังคม ด้านการมีส่วนร่วมของประชาชนและด้านสิ่งแวดล้อม โดยมีค่าน้ำหนักดังต่อไปนี้

ลำดับที่	ลักษณะตัวแปร	น้ำหนัก(%)
1	ด้านวิศวกรรม	20
2	ด้านเศรษฐศาสตร์	20
3	ด้านเศรษฐกิจ-สังคม	20
4	ด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน	20
5	ด้านสิ่งแวดล้อม	20
รวม		**100**

1) ด้านวิศวกรรม เพื่อพิจารณาความสามารถในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำและปัญหาอุทกภัย รวมถึงความพร้อมของโครงการ ดัชนีชี้วัดตัวละ 5 % ประกอบด้วย

◇ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับปริมาตรน้ำใช้การ ใช้เกณฑ์ 3 ช่วงระหว่างอัตราส่วนสูงสุดกับต่ำสุด คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

◇ พื้นที่รับประโยชน์ ใช้เกณฑ์ 3 ช่วงระหว่างพื้นที่รับประโยชน์สูงสุดกับต่ำสุด คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

◇ ความสามารถในการระบายน้ำ ใช้เกณฑ์ดี ปานกลาง น้อย คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

◇ ความพร้อมของโครงการ ใช้เกณฑ์มาก ปานกลาง น้อย คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

2) ด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อแก้ไขและบรรเทาความเดือดร้อนของประชาชน ดัชนีชี้วัดตัวละ 10 % ประกอบด้วย

◇ อัตราส่วนระหว่างค่าลงทุนกับปริมาตรน้ำใช้การ ใช้เกณฑ์ 3 ช่วงระหว่างอัตราส่วนต่ำสุดกับสูงสุด คิดเป็นคะแนน 10, 6 และ 2

◇ ผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ ใช้เกณฑ์ 3 ช่วงระหว่างอัตราส่วนผลประโยชน์กับค่าลงทุน(B/C ratio) สูงสุดกับต่ำสุด คิดเป็นคะแนน 10, 6 และ 2

3) ด้านเศรษฐกิจ-สังคม เพื่อพิจารณาถึงปัจจัยในการแก้ไขปัญหาด้านเศรษฐกิจ-สังคม ดัชนีชี้วัดตัวละ 5 % ประกอบด้วย

◇ บรรเทาปัญหาภัยแล้ง ใช้เกณฑ์มาก ปานกลาง น้อย คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

◇ บรรเทาปัญหาอุทกภัย ใช้เกณฑ์มาก ปานกลาง น้อย คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

◇ บรรเทาปัญหาคุณภาพน้ำ ใช้เกณฑ์มาก ปานกลาง น้อย คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

◇ ความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาใช้เกณฑ์มาก ปานกลาง น้อย คิดเป็นคะแนน 5, 3 และ 1

4) ด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน เพื่อพิจารณาถึงการมีส่วนร่วมของประชาชนในชุมชนต่อการพัฒนาโครงการฯ ดัชนีชี้วัดตัวละ 10 % ประกอบด้วย

◇ ความต้องการโครงการฯของประชาชน**ในชุมชน** ใช้เกณฑ์มาก ปานกลาง น้อยคิดเป็นคะแนน 10, 6 และ 2

◇ ประชาชนมีส่วนร่วมในการอุทิศที่ดินเพื่อก่อสร้างโครงการฯ ใช้เกณฑ์มาก ปานกลาง น้อย คิดเป็นคะแนน 10, 6 และ 2

5) ด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นหากดำเนินการพัฒนาโครงการฯ ดัชนีชี้วัดตัวละ 10 % ประกอบด้วย

◇ ผลกระทบต่อพื้นที่อุทยานแห่งชาติ/เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า/เขตห้ามล่าสัตว์ป่า/พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ/พื้นที่ป่าสงวน ใช้เกณฑ์ไม่มี น้อย ปานกลาง คิดเป็นคะแนน 10, 6 และ 2

◇ ผลกระทบต่อการอนุรักษ์รักษาสมดุลระบบนิเวศ ใช้เกณฑ์ไม่มี น้อย ปานกลางคิดเป็นคะแนน 10, 6 และ 2

1.10 ตัวอย่างรายงานการตรวจสอบความเหมาะสมโครงการเบื้องต้น

รายงานการตรวจสอบความเหมาะสมเบื้องต้น
โครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำหนองตีนดอย
อำเภอสามเงา จังหวัดตาก

1. ความเป็นมา/สภาพปัญหา

หนองตีนดอยเป็นหนองน้ำธรรมชาติครอบคลุม ตำบล ได้แก่ ตำบลยกกระบัตร, ตำบลวังจันทร์ ตำบลวังหมัน มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 58 ตารางกิโลเมตร เป็นหนองน้ำบนที่ราบลุ่มริมฝั่งแม่น้ำวัง สภาพธรรมชาติเป็นที่ลุ่มต่ำ สำหรับรองรับปริมาณน้ำมาจากทางต้นน้ำ แต่พอฤดูแล้ง จะมีการใช้น้ำจากหนองเพื่อใช้ในการเพาะปลูก อดีตหนองตีนดอยยังมีน้ำพอเพียง

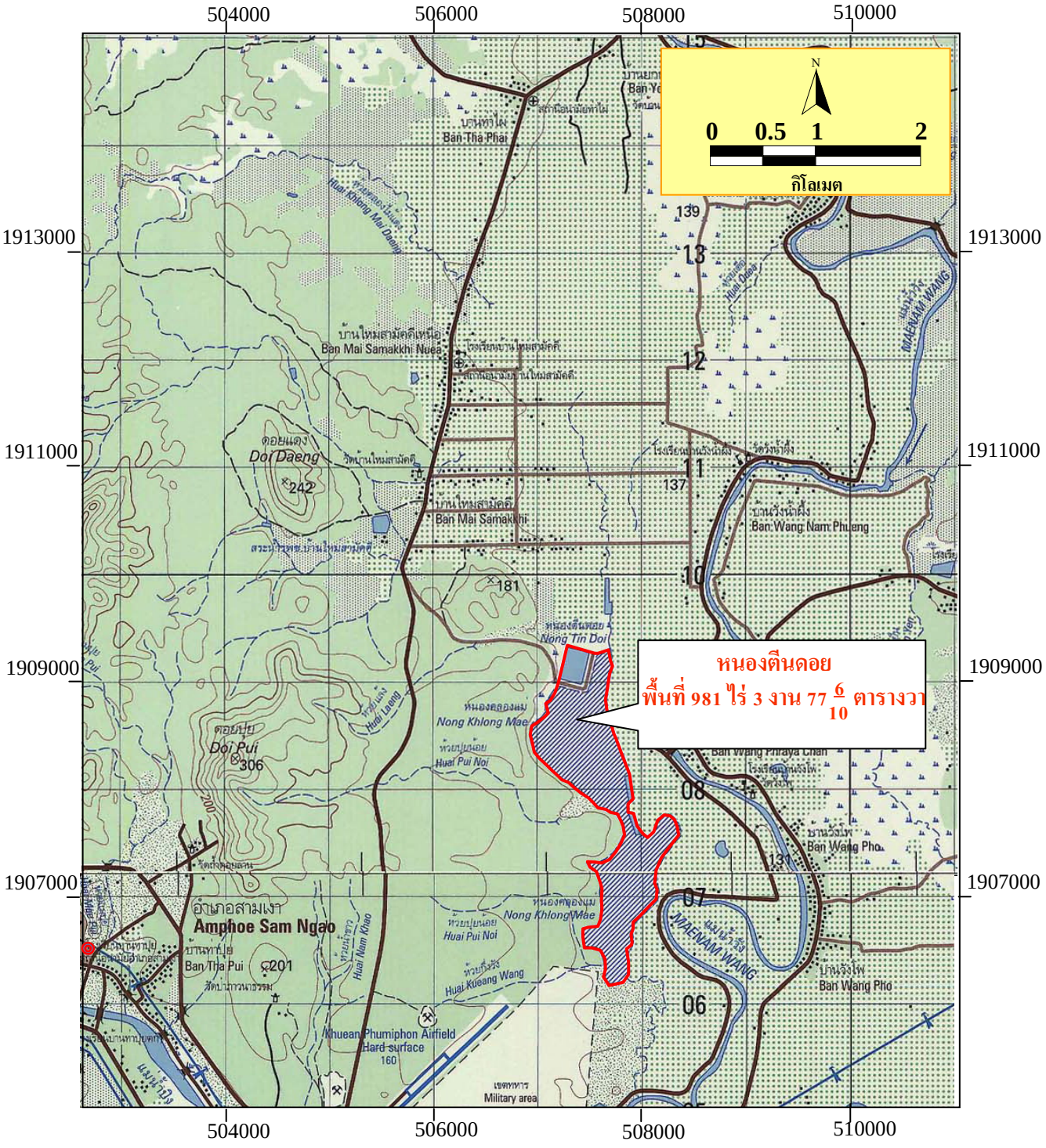
สภาพปัจจุบันมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้น เกิดปัญหา การตื้นเขิน คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม ส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตและคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ และขาดการบริหารจัดการอย่างเป็นระบบ จึงเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำและอุทกภัย

2. **วัตถุประสงค์**

- เพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้ง การขาดแคลนน้ำและอุทกภัย
- เพื่ออนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำธรรมชาติ
- เพื่อการอุปโภคบริโภค และเสริมด้านการเกษตร

3. **ที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ**

พื้นที่หนองตีนดอยส่วนใหญ่ตั้งอยู่ใน 3 ตำบลของอำเภอสามเงา จังหวัดตาก ได้แก่ ตำบลยกกระบัตร ตำบลวังจันทร์ และตำบลวังหมัน หรือจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ที่พิกัด 47 QNA 1908500 N, 507500 Eแผนที่ระวาง 4843 IV ลำดับชุด L7018 (WGSX 84) โดยมีพื้นที่ตามหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวงเลขที่ 4998 เป็นเนื้อที่ 981 ไร่ 3 งาน 77 6/10 ตารางวา



สัญลักษณ์

- ที่ตั้งอำเภอ
- ขอบเขตพื้นที่หนองตีนดอย

โครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำหนองตีนดอย
ตำบลยกกระบัตร ตำบลวังจันทร์และตำบลวังหมัน
อำเภอสามเงา จังหวัดตาก

บริษัท พี แอนด์ ซี แมเนจเม้นท์ จำกัด
บริษัท พิสุทธิ์ เทคโนโลยี จำกัด
บริษัท อินเตอร์ เทค คอนซัลแตนท์ จำกัด

แผนที่ระวาง 4843 IV ลำดับชุด L7018 (WGS 84)

4. สภาพภูมิอากาศและอุทกวิทยา

หนองตีนดอยอยู่ภายใต้อิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีฤดูกาล 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อน

ฤดูฝน เริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ถึงประมาณเดือนตุลาคมของทุกปี โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดีย ทำให้เกิดฝนตกชุกโดยทั่วไป

ฤดูหนาว เริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมไปจนถึงประมาณเดือนกุมภาพันธ์ของทุกปี โดยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งพัดมาจากประเทศจีน ซึ่งนำความแห้งแล้งและหนาวเย็นมาสู่พื้นที่โครงการ

ฤดูร้อน เริ่มประมาณเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนเมษายน เป็นช่วงเปลี่ยนผ่านของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือไปเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อากาศช่วงนี้ค่อนข้างร้อน

5. การใช้ประโยชน์ที่ดิน

บริเวณพื้นที่โครงการหนองตีนดอย จำแนกประเภทการใช้ที่ดินออกได้ 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม ประเภทนาข้าว พืชไร่/พืชหมุนเวียน และไม้ผลผสม พื้นที่ป่าไม้ประเภทป่าผลัดใบเสื่อมโทรม พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่อื่น ๆ ได้แก่ ที่อยู่อาศัย พื้นที่โครงการส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม โดยเฉพาะการปลูกฝรั่ง กล้วยไข่ ทำนา และปลูกข้าวโพด เป็นต้น

บริเวณพื้นที่ใกล้เคียงในรัศมี 500 เมตร รอบพื้นที่โครงการนั้น มีพื้นที่ทั้งหมด 4,060 ไร่ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ลุ่ม คิดเป็นร้อยละ 39.74 รองลงมาเป็นพื้นที่ป่าเบญจพรรณ คิดเป็นร้อยละ 30.17 ส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่เกษตร คิดเป็นร้อยละ 26.51 และแหล่งชุมชนร้อยละ 3.58

6. ความต้องการใช้น้ำ

1) การใช้น้ำเพื่อการบริโภค ประชาชนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 84.78)ใช้น้ำประปาในการบริโภคในครัวเรือน รองลงมาคือ น้ำฝน (ร้อยละ 17.39) แต่ทั้งนี้ปริมาณน้ำเพื่อการบริโภคมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ (ร้อยละ 76.09) คุณภาพอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (ร้อยละ 65.22)

2) การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค ประชาชนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 86.95) ใช้น้ำประปาเพื่อใช้อุปโภคในครัวเรือน รองลงมาคือ น้ำบาดาล และบ่อน้ำตื้น (ร้อยละ 8.70 และ 4.35 ตามลำดับ) โดยระบุว่าปริมาณน้ำเพื่อการอุปโภคมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ (ร้อยละ 89.13) คุณภาพอยู่ในเกณฑ์ พอใช้ (ร้อยละ 67.39)

3) การใช้น้ำเพื่อการเกษตร ประชาชน ที่ประกอบอาชีพการเกษตรส่วนใหญ่ (ร้อยละ 63.04) ใช้น้ำบาดาลเพื่อการเกษตร รองลงมาคือ น้ำฝน (ร้อยละ 28.26) โดยมีปริมาณน้ำเพื่อการเกษตรไม่เพียงพอต่อความต้องการ (ร้อยละ 67.39) และคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ พอใช้ (ร้อย 63.04)

4) การใช้น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ประชาชนที่ประกอบอาชีพเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่ (ร้อยละ 55.00) ใช้น้ำจากสระขุดเพื่อการเลี้ยงสัตว์น้ำ รองลงมาคือ น้ำบาดาล(ร้อยละ 25.00) โดยส่วนใหญ่ระบุว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้(ร้อยละ 55.00)

7. แนวทางการพัฒนา/อนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

1) งานขุดดินด้วยเครื่องจักรและขนย้ายดินขุดตั้งแต่ กิโลเมตรที่ 0+005 ถึง กิโลเมตรที่ 2+668 ขุดลอกดินและปรับแต่งดินขนทิ้ง 4,513,664 ลบ.ม.
2) งานคันดินถมบดอัดผิวลูกรังอัดแน่น กว้าง 6.00 ม.และ กว้าง 10.00 ม. ระยะทางรวม 3.925 กิโลเมตร
3) ก่อสร้างอาคารท่อ คสล. ขนาด 1.00 เมตร พร้อมประตูระบาย ปิด-เปิด จำนวน 20 แห่ง
4) งานบันไดลงหนอง ความกว้าง 5.40 เมตร จำนวน 11 แห่ง
5) งานท่อเหลี่ยม คสล. พร้อมประตูระบายปิด-เปิดจำนวน 2 แห่ง

8. งบประมาณค่าก่อสร้าง

- ปี 2553 งบประมาณ 50,000,000 บาท
- ปี 2554 งบประมาณ 80,750,000 บาท
- ปี 2555 งบประมาณ 80,750,000 บาท
- รวมค่าก่อสร้างทั้งสิ้น 211,500,000 บาท

9. **ผลประโยชน์ที่ได้รับ**

- สามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มขึ้น จากเดิม 1,000,000 ลบ.ม. เป็นประมาณ 5,500,000 ลบ.ม.
- ประชาชนชนมีน้ำพอเพียงต่อการบริโภค อุปโภค และการเกษตรตลอดปี ประมาณ 5,000 ไร่
- บรรเทาปัญหาอุทกภัยและภัยแล้ง
- ประชาชนมีรายได้เสริมจาการทำประมง
- เป็นพื้นที่แก้มลิงรับน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก
- เป็นแหล่งท่องเที่ยวและสถานที่พักผ่อนของประชาชน

10. ผลกระทบโครงการ

โครงการไม่ส่งผลกระทบกับพื้นที่ใกล้เคียง

11. ผู้ให้ข้อมูลโครงการ

นายสมนึก สุขช่วย ผู้อำนวยการสำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ โทรศัพท์.....

12. ผู้จัดทำรายงาน

1) นายวันเสด็จ จันทร์สุวรรณ ตำแหน่ง วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

2) นายธีระ วงศ์ใหญ่ ตำแหน่ง วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

13. รูปสภาพพื้นที่โครงการ

ส่วนที่ 2

การสำรวจทางวิศวกรรม

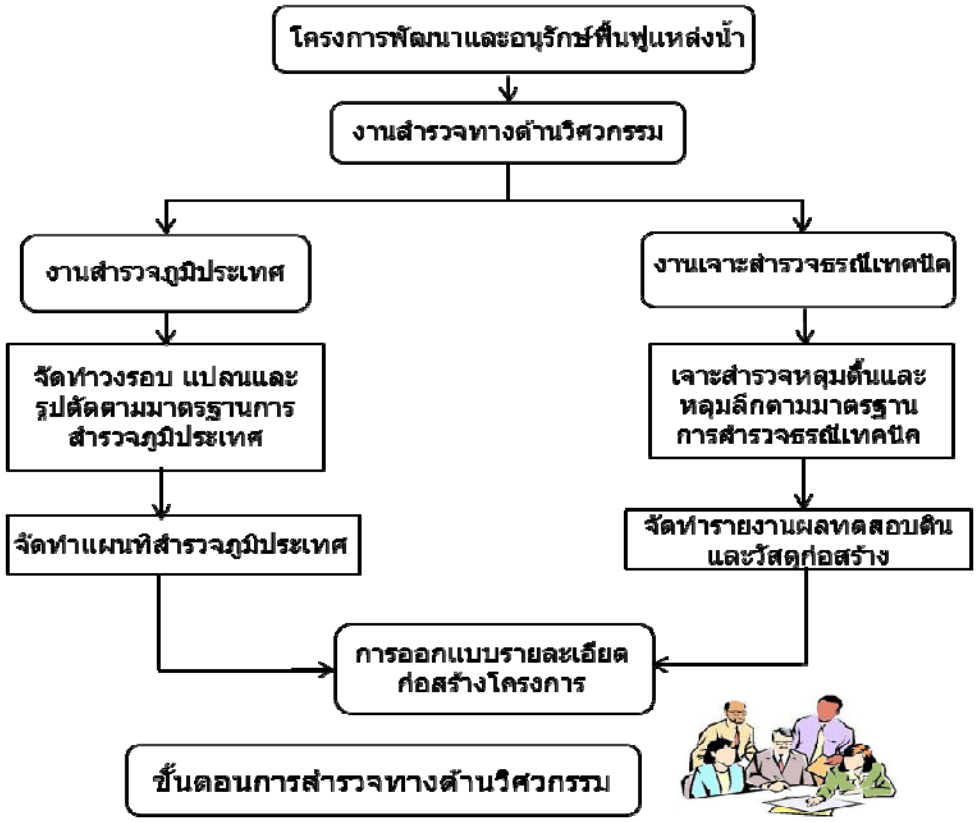
2. การสำรวจทางวิศวกรรม

2.1 การสำรวจพื้นที่โครงการเบื้องต้น

จากข้อมูลความต้องการโครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำของท้องถิ่น การสำรวจพื้นที่โครงการภาคสนามพบปะกับประชาชนและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นขั้นตอนแรกที่ต้องดำเนินการ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการเบื้องต้น ก่อนที่จะลงในรายละเอียดต่อไป รายละเอียดการสำรวจภาคสนามในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งน้ำที่จะฟื้นฟูและพัฒนา เช่น

(1) ลำห้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำ เนื่องจากมีการตกทับถมของตะกอนดินมาก ทำให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำลดลง ช่วงมรสุมเกิดน้ำไหลหลากบ่าล้นตลิ่งบ่อยขึ้น ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นเกษตรกรรมและที่อยู่อาศัย การฟื้นฟูสภาพลำน้ำโดยการขุดลอกตะกอนดินและเก็บกักน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง ซึ่งต้องทำการสำรวจภาคสนามในเบื้องต้น ประกอบด้วย พิกัดตำแหน่งที่ตั้ง ชื่อลำห้วย บ้าน หมู่ที่ ตำบล อำเภอ และจังหวัด แนวเขตของห้วยทั้ง 2 ฝั่ง ทำการสำรวจหาความกว้างและความลึกของห้วย รวมถึงปัญหาการรุกล้ำลำห้วย โครงการพัฒนาแหล่งน้ำในลำห้วยที่มีอยู่ในปัจจุบันทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของพื้นที่โครงการ สภาพปัญหาของการตกตะกอนดินและการกัดเซาะ ตลอดความยาวตามลำห้วยของโครงการ ระดับน้ำหลากและระดับน้ำต่ำสุด การใช้ที่ดินในพื้นที่โครงการ สภาพธรณีเทคนิค การใช้ประโยชน์จากน้ำในลำห้วย ผลกระทบที่เกิดจากประสิทธิภาพการระบายน้ำหลากของลำห้วยที่ลดลง ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาโครงการ ความจำเป็นของทางลำเลียงผลผลิตทางการเกษตร และพิกัดตำแหน่งที่ทิ้งดิน เป็นต้น

(2) บึง กุดหรือหนองน้ำ เพื่อการอนุรักษ์และเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำ เนื่องจากมีการตกทับถมของตะกอนดินมาก ทำให้ประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำลดลง ช่วงฤดูแล้งน้ำแห้งทำให้สิ่งมีชีวิตสูญสิ้น ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศ การฟื้นฟูสภาพบึง กุดหรือหนองน้ำโดยการอนุรักษ์พื้นที่บางส่วนและการพัฒนาโดยการขุดลอกตะกอนดินและเก็บกักน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งในส่วนที่เหลือ ซึ่งต้องทำการสำรวจภาคสนามในเบื้องต้น ประกอบด้วย พิกัดตำแหน่งที่ตั้ง ชื่อบึง กุดหรือหนองน้ำ บ้าน หมู่ที่ ตำบล อำเภอและจังหวัด ขอบเขตของบึง กุดหรือหนองน้ำ สำรวจความกว้างและความลึกของแหล่งน้ำ รวมถึงปัญหาการรุกล้ำแหล่งน้ำ สภาพปัญหาของการตกตะกอนดิน ระดับน้ำหลากและระดับน้ำต่ำสุด การใช้ที่ดินในพื้นที่โครงการ สภาพธรณีเทคนิค การใช้ประโยชน์จากน้ำในบึง กุดหรือหนองน้ำผลกระทบที่เกิดจากประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำของแหล่งน้ำที่ลดลง ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาโครงการ ความจำเป็นของทางลำเลียงผลผลิตทางการเกษตร พิกัดตำแหน่งที่ทิ้งดิน เป็นต้น



2.2 การสำรวจภูมิประเทศ

จากผลการคัดเลือกโครงการ ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟู และพัฒนาแหล่งน้ำ ที่ใช้ข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่โครงการภาคสนามเบื้องต้น ก็ต้องทำการสำรวจภูมิประเทศในขั้นออกแบบรายละเอียด โดยมีรายละเอียดที่ต้องดำเนินการดังนี้

1) การสำรวจโยงค่าพิกัดและค่าระดับ เพื่อหาค่าพิกัดและ/หรือค่าระดับของหมุดหลักฐานที่สร้างขึ้นใหม่ในเขตงาน ซึ่งจะใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับงานสำรวจทำแผนที่ งานสำรวจทางด้านวิศวกรรม และงานสำรวจเพื่อการก่อสร้างโครงการ

1.1) ลักษณะของงาน

1.1.1) งานสร้างหมุดหลักฐานถาวร (Monumenting)

(1) การเลือกที่ตั้งหมุดหลักฐาน ตำแหน่งที่สร้างหมุดหลักฐานต้องพิจารณาเลือกตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้หมุดหลักฐานที่สร้างขึ้นมีความมั่นคง ข้อพิจารณาในการเลือกที่ตั้งมีดังนี้

- เป็นตำแหน่งที่มั่นคง แข็งแรง พื้นดินมีการอัดตัวแน่น
- เป็นตำแหน่งที่ยากแก่การทำลาย ควรเลือกสร้างในสถานที่ราชการ วัด โรงเรียน หรือบริเวณที่คาดว่าจะไม่มีการก่อสร้างที่เป็นอุปสรรคในการใช้หมุดที่สร้างขึ้น ไม่ควรสร้างหมุดหลักฐานถาวรบนไหล่ถนน เพราะอาจถูกทำลายได้ง่าย
- เป็นตำแหน่งที่เด่นชัดง่ายต่อการค้นหา
- หมุดคู่ที่สร้างขึ้นต้องไม่มีอะไรมาบังแนวเล็งระยะระหว่างหมุดประมาณ200–500ม.

- กรณีของการสร้างหมุดหลักฐานเพื่อรังวัดพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ให้เลือกตำแหน่งที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องอยู่ในพื้นที่โล่งแจ้ง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมที่โคจรอยู่บนท้องฟ้าได้ทุกทิศทาง

(2) วัสดุและวิธีการสร้างหมุดหลักฐาน วัสดุที่สร้างหมุดหลักฐานส่วนใหญ่ จะเป็นคอนกรีตที่มีส่วนผสมระหว่าง ปูน:ทราย:หิน เป็นอัตราส่วน 1:2:4 ส่วน วิธีการสร้างแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

- นำวัสดุไปหล่อในภูมิประเทศ ณ ตำแหน่งที่เลือก
- หล่อหมุดคอนกรีตตามแบบมาตรฐานไว้ก่อนแล้วนำไปฝัง
- กรณีที่มีวัตถุธรรมชาติหรือสิ่งก่อสร้างที่มั่นคง เช่น บนยอดเขาที่มีก้อนหินใหญ่ อาคารคอนกรีต หรือ คอสะพานรถไฟ สามารถใช้เป็นที่สร้างหมุดได้ โดยสกัดลงไปให้ลึกประมาณ 4–5 นิ้ว เทคอนกรีตและใช้หัวน๊อตเหล็กหรือหมุดทองเหลืองเป็นหัวหมุด

(3) แบบของหมุดหลักฐานเพื่อให้หมุดหลักฐานถาวรของงานทุกชนิด และทุกหน่วยงานมีแบบมาตรฐานเดียวกัน จึงกำหนดแบบหมุดหลักฐานถาวรเป็น 3 แบบ มีลักษณะรูปร่างและขนาดดังนี้

- หมุดหลักฐานถาวรแบบ ก. เป็นหมุดหล่อด้วยคอนกรีต ผิวหน้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีหัวหมุดทำด้วยทองเหลือง ขนาด0.15x0.15 ม.ขนาดของหมุด 0.60x0.60x0.70 ม. ตอกเข็มไม้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3″x 1 ม. จำนวน 4 ต้น ให้เขียนค่าระดับไว้ที่หมุดหลักฐาน โดยถ่ายค่าระดับอ้างอิงจากค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง(MSL-Mean Sea Level)
- หมุดหลักฐานถาวรแบบ ข. เป็นหมุดหล่อด้วยคอนกรีต ขนาดของตัวอักษรสูง 1.5 ซม. โดยให้ประทับอักษรคำว่า “ทน.”ลงด้านบนของหมุดหลักฐานมี 2 ลักษณะคือ
  - หมุดคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.10x0.30 ม.ให้เป็นหมุดหมายพยาน
  - หมุดคอนกรีตทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 0.15x0.15x0.50 ม.ให้เป็นหมุดวงรอบบนผิวหน้าของหมุด ทั้ง 2 แบบ ให้ระบุชื่อย่อของหน่วยงานและหมายเลขหมุดพร้อมกับอักษรเต็มหรือย่อของโครงการนั้น โดยให้ตัวอักษรชี้ไปทางทิศเหนือ สำหรับหมุดชั่วคราว (TBM : Temporary Bench Mark) ให้ใช้หมุดไม้ขนาด 1″x 1″ยาว 10–20 ซม.

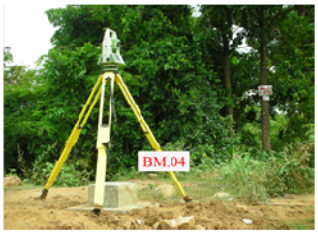
(4) หมายพยาน(Reference Marks) เพื่อความสะดวกในการค้นหาหมุดหลักฐานถาวรแต่ละหมุด จะต้องมีหมายพยานอย่างน้อย 2 แห่ง หมายพยานนี้อาจจะเป็นสิ่งก่อสร้างถาวร หรือวัตถุตามธรรมชาติที่เด่นชัด ซึ่งอยู่ใกล้หมุดในรัศมีประมาณ 30 ม. วัตถุหมายพยานเหล่านี้คาดว่าจะไม่ถูกทำลายหรือสูญหายไป เช่น ต้นไม้ใหญ่ มุมบ้าน เสาธง และสามารถวัดระยะระหว่างหมุดกับหมายพยานได้โดยตรง ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถหาตำแหน่งของหมุดโดยวิธีสกัดกลับได้ ในกรณีที่หมุดหลักฐานถูกดินกลบหรือถูกทำลายไป ดังตัวอย่าง

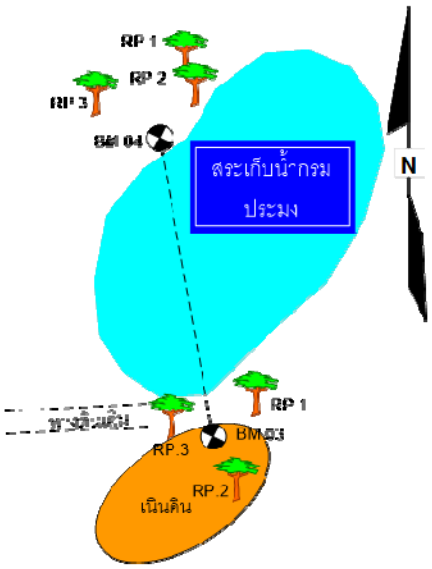
DEPARTMENT OF WATER RESOURCES

DESCRIPTION OR RECOVERY OF BENCH MARK

PROJECT	ผันน้ำจากโครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยประทาวสู่พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสามหมอดอเบน	CHANGWAT	ชัยภูมิ
		AMPHOE	แก้งคร้อ
AZIMUTH FROM	BM.03 TO BM.04	TYPE OF MARK	CONCRETE SITE 0.6X0.6X0.70
	349° - 34' - 47" ระยะ 191.772		

VERTICAL DATUM	MEAN SEA LEVEL AT KO LAK	STATION	BM.03	ELEVATION	242.734 m.
HORIZONTAL DATUM	WGS84 DATUM	N 1,789,742.623	E 193,212.170		
GRID AND ZONE	48 N	STATION	BM.04	ELEVATION	240.918 m.
		N 1,789,931.232	E 193,177.458		





BM.03 เดินทางจาก อ.แก้งคร้อ ไปเชื่อนลำประทาว ตามทางหลวงหมายเลข 2353 ประมาณ 9.5 กม พบตี่แยก บ.โคกกุง เลี้ยวขวาไป บ.โนนเจ้ว 3.5 กม.พบตี่แยกเลี้ยวซ้ายไปประมาณ 3.8 ก.ม.พบสระเก็บน้ำกรมประมง BM.03 อยู่ที่หัวมุมรั้ว ทอง.หลืองขนาด Ø 2" บนหมุดคอนกรีตขนาด 0.60x0.60x0.70 ม บนเนินดินด้านขวา

RP. 1	ต้นจิ๋หลึก	ระยะ	10.26	AZ.	36 °
RP. 2	ต้นสะเดา	ระยะ	7.06	AZ.	176 °
RP. 3	ต้นจิ๋หลึก	ระยะ	5.68	AZ.	203 °

BM.04 เดินทางจาก อ.แก้งคร้อ ไปเชื่อนลำประทาว ตามทางหลวงหมายเลข 2353 ประมาณ 9.5 กม พบตี่แยก บ.โคกกุง เลี้ยวขวาไป บ.โนนเจ้ว 3.5 กม.พบตี่แยกเลี้ยวซ้ายไปประมาณ 3.8 ก.ม.พบสระเก็บน้ำกรมประมง BM.04 อยู่ที่หัวมุมรั้ว ทอง.หลืองขนาด Ø 2" บนหมุดคอนกรีตขนาด 0.60x0.60x0.70 ม บนคันสระน้ำด้านซ้าย

RP. 1	ต้นสะเดา	ระยะ	11.07	AZ.	20 °
RP. 2	ต้นเสี้ยว	ระยะ	4.87	AZ.	70 °
RP. 3	ต้นสะเดา	ระยะ	13.25 ม.	AZ.	310 °

(5) แบบแสดงรายละเอียดหมุดหลักฐาน (Descriptions) แบบแสดงรายละเอียดหมุดหลักฐาน เป็นแบบบันทึกรายละเอียดที่ตั้งและข้อมูลที่สำคัญของหมุดหลักฐาน เพื่อให้สามารถค้นหาหมุดหลักฐานนั้นได้ง่าย ข้อความอธิบายรายละเอียดในแบบแสดงที่ตั้งหมุดหลักฐานต้องสั้น กะทัดรัด มีใจความที่สมบูรณ์และเป็นแบบเดียวกัน ภาพสเก็ตที่ตั้งหมุดจะต้องชัดเจน มีรายละเอียดที่จำเป็นสำหรับค้นหาหมุดเท่านั้น เช่น แสดงวัตถุถาวรที่มีลักษณะเด่นตามธรรมชาติ การแสดงทิศทางต้องถูกต้อง รายละเอียดในแบบประกอบด้วย

- ตำแหน่งทั่วไป ระบุบริเวณที่ตั้งของหมุด สถานที่ตั้งของหมุด ตำบล อำเภอ จังหวัด รวมทั้งเส้นทางในการเข้าถึงหมุด โดยเริ่มจากจุดที่หาง่ายที่สุด
- ตำแหน่งที่แน่นอน ระบุวัตถุถาวรหรือกึ่งถาวรที่ใกล้เคียงที่สุด เช่น อาคารเรียน เสาธง ถังประปา ต้นไม้ใหญ่ เป็นต้น
- ลักษณะของหมุดหลักฐาน เช่น เป็นหมุดหลักฐานถาวรแบบ ข. หมุดสกัดบนก้อนหิน เป็นต้น
- หมายพยาน แสดงลักษณะของหมายพยาน ทิศทาง และระยะจากหมุดไปยังหมายพยาน
- หมุดคู่ ให้แสดงตำแหน่งและทิศทางของหมุดคู่ไว้เพื่อสะดวกในการใช้งาน

เมื่องานสำรวจของโครงการเสร็จลงแล้ว ให้ตรวจสอบและเพิ่มเติมรายละเอียดข้อความต่างๆ ในสมุดสนาม ให้สมบูรณ์ พร้อมทั้งทำบัญชีค่าพิกัดและ/หรือค่าระดับของหมุดทุกหมุด รวมทั้งแผนที่สารบัญแสดงตำแหน่งของหมุด และภาพถ่ายของหมุด แล้วรวบรวมส่งให้หน่วยงานที่รับผิดชอบ เก็บเป็นหลักฐานไว้ใช้งานต่อไป

1.1.2) งานสำรวจโยงค่าพิกัด

(1) งานรังวัดพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นวิธีการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งจากดาวเทียม จี พี เอส(GPS:Global Positioning System) หรือระบบดาวเทียมอื่น โดยนำเครื่องรังวัดไปตั้งรับสัญญาณที่ตำแหน่งหมุดหลักฐาน หรือจุดที่ต้องการหาค่าพิกัด ตามเส้นโครงข่ายการรังวัดที่ได้จัดเตรียมไว้ล่วงหน้า แล้วนำผลการรังวัดมาประมวลผลและปรับแก้โครงข่าย ค่าพิกัดที่คำนวณได้ต้องมีค่าพิกัดทางยีออเดซี (Geodetic Coordinates) และค่าพิกัดกริด ยู ที เอ็ม (UTM : Universal Transverse Mercator) บนพื้นหลักฐานสากล WGS 84 (World Geodetic System 1984) และบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 (Indian 1975 Datum)

(2) งานวงรอบ (Traverse) เป็นวิธีการรังวัด เพื่อคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของจุดต่างๆ โดยการวัดมุมและวัดระยะที่เชื่อมต่อระหว่างจุดในลักษณะต่อเนื่องกัน โดยค่าพิกัดฉาก(Coordinate)ของหมุดหลักฐานที่ใช้ออกงานและเข้าบรรจบวงรอบ ต้องอ้างอิงจากระบบ Universal Transverse Mercator(UTM)ที่ถูกต้องจากกรมแผนที่ทหาร กรมที่ดิน กรมทางหลวงหรือจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ของรัฐ ซึ่งแบ่งชั้นของงานที่ปฏิบัติออกเป็น 2 ชั้นคือ

o งานวงรอบชั้นที่ 2 (Second Order Traverse) มีข้อกำหนดเฉพาะและมาตรฐานความถูกต้องทั่วไปดังนี้

- การวัดมุม
  - ใช้กล้องวัดมุมที่มีความละเอียด 0.2″หรือดีกว่า

- จำนวนศูนย์ของการวัด 6 ศูนย์
- ความต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 4″

▪ การวัดระยะ
- ใช้เครื่องวัดระยะอิเลคทรอนิคส์ที่มีความละเอียด 5 mm. ± 10 ppm หรือดีกว่า
- ระยะระหว่างหมุดไม่น้อยกว่า 200 ม.
- วัดระยะ 2 เที่ยว(ไป–กลับ) ความละเอียดของการวัดระยะไม่น้อยกว่า 1/120,000

▪ การวัดอาซิมุทดาราศาสตร์ (Astronomical Azimuth)
- ทำการรังวัดอาซิมุททุก 15–20 มุม
- จำนวนศูนย์ของการวัด 12–16 ศูนย์
- Probable Error ของผลปานกลางไม่เกิน 2.0″
- จำนวนแก้ของมุมวงรอบเมื่อตรวจสอบกับค่าอาซิมุทไม่เกินมุมละ3″หรือ 10″$\sqrt{N}$ (N เป็นจำนวนมุม)
- ความคลาดเคลื่อนในการบรรจบทางตำแหน่ง เมื่อปรับแก้มุมแล้วไม่เกิน 1/20,000

o งานวงรอบชั้นที่ 3 (Third Order Traverse) มีข้อกำหนดเฉพาะและมาตรฐานความถูกต้องทั่วไปดังนี้

▪ การวัดมุม
- ใช้กล้องวัดมุมที่มีความละเอียด 1.0″หรือดีกว่า
- จำนวนศูนย์ของการวัด 2 ศูนย์
- ความต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 5″

▪ การวัดระยะ
- ใช้เครื่องวัดระยะอิเลคทรอนิคส์หรือโซ่ลานเหล็ก(Steel Tape)
- วัดระยะ 2 เที่ยว(ไป–กลับ)
- ความละเอียดของการวัดระยะไม่น้อยกว่า 1/30,000

▪ การวัดอาซิมุทดาราศาสตร์ (Astronomical Azimuth)
- ทำการรังวัดอาซิมุททุก 30–40 มุม
- จำนวนศูนย์ของการวัด 8–12 ศูนย์
- Probable Error ของผลปานกลางไม่เกิน 5.0″
- จำนวนแก้ของมุมวงรอบเมื่อตรวจสอบกับค่าอาซิมุทไม่เกินมุมละ8″หรือ 30″$\sqrt{N}$ (N เป็นจำนวนมุม)
- ความคลาดเคลื่อนในการบรรจบทางตำแหน่ง เมื่อปรับแก้มุมแล้วไม่เกิน 1/5,000

1.1.3) งานสำรวจค่าระดับ(Spirit Levelling)

เป็นวิธีการรังวัดเพื่อคำนวณหาค่าระดับความสูงของจุดต่างๆซึ่งอ้างอิงกับพื้นระดับน้ำทะเลปานกลาง(รทก.-Mean Sea Level) โดยการวัดค่าต่างระดับต่อเนื่องจากจุดถึงจุดด้วยกล้องระดับ โดยค่าระดับที่อ้างอิงตัวแรกและตัวเข้าบรรจบต้องได้มาจากการถ่ายค่าจากหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารหรือจากหน่วยงานที่เชื่อถือได้ของรัฐหรือจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัด(GPS)ที่มีความถูกต้องถึง $\pm$ 1 มิลลิเมตร ซึ่งแบ่งชั้นของงานที่ปฏิบัติออกเป็น 4 ชั้น คือ

o งานสำรวจค่าระดับชั้นที่ 1 (First Order Levelling) มีข้อกำหนดเฉพาะและมาตรฐานความถูกต้องดังนี้

- เครื่องมือและอุปกรณ์
  - ใช้กล้องระดับอัตโนมัติหรือกล้อง Tilting ซึ่งมี Parallel Plate Micrometer หลอดระดับของกล้องมีความไว 10 ฟิลิบดา ต่อ 2 มม. หรือดีกว่า กำลังขยายไม่น้อยกว่า 40 เท่า
  - ใช้ไม้แบ่งส่วนเมตร ที่ทำด้วยโลหะอินวาร์ มีหลอดระดับฟองกลมประกอบ และเหล็กรองรับไม้แบ่งส่วนเมตร (Ground Plates)
- การปฏิบัติงานสนาม
  - ความยาวของสายการระดับ ไม่เกิน 80 กม.
  - ความยาวของตอนการระดับ 1-2 กม.
  - ทำระดับไปและกลับ (Double Run) ในทุกตอนการทำระดับ
  - ระยะไกลสุดระหว่างกล้องกับไม้แบ่งส่วนเมตร ไม่เกิน 60 เมตร
  - ความต่างระหว่างระยะไม้หน้าและระยะไม้หลัง ไม่เกิน 5 เมตร
  - ความต่างสะสมระหว่างผลรวมระยะไม้หน้า กับผลรวมระยะไม้หลัง ของตอนการระดับไม่เกิน 10 ม.
  - ความคลาดเคลื่อนระหว่างเที่ยวทำไปกับเที่ยวทำกลับ ไม่เกิน 4 มม.$\sqrt{K}$ (K = ระยะทางเป็นกิโลเมตร)
  - ความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบในสายการระดับ ไม่เกิน 4 มม.$\sqrt{K}$

o งานสำรวจค่าระดับชั้นที่ 2 (Second Order Levelling) มีข้อกำหนดเฉพาะและมาตรฐานความถูกต้องดังนี้

- เครื่องมือและอุปกรณ์
  - ใช้กล้องระดับอัตโนมัติ ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการปรับเส้นเล็ง 0.5 ฟิลิปดาหรือกล้อง Tilting ซึ่งมีความไวของหลอดระดับ 30 ฟิลิบดา ต่อ 2 มม. หรือดีกว่า และประกอบด้วย Parallel Plate Micrometer
  - ใช้ไม้แบ่งส่วนเมตร ที่ทำด้วยโลหะอินวาร์ มีหลอดระดับฟองกลมประกอบ และเหล็กรองรับไม้แบ่งส่วนเมตร (Ground Plates)
- การปฏิบัติงานสนาม
  - ความยาวของสายการระดับ ไม่เกิน 60 กม.

- ทำระดับเที่ยวเดียว (Single Run) ถ้าหมุดหลักฐานที่ใช้ออกงานและเข้าบรรจบอยู่ห่างไม่เกิน 15 กม. เมตร
- ถ้าทำระดับสองเที่ยว ให้แบ่งสายระดับออกเป็นตอน การระดับทุกช่วง 1-3 กม.
- ระยะไกลสุดระหว่างกล้องกับไม้แบ่งส่วนเมตร ไม่เกิน 80 เมตร
- ความต่างระหว่างระยะไม้หน้าและระยะไม้หลัง ไม่เกิน 10 เมตร
- ความต่างสะสมระหว่างผลรวมระยะไม้หน้า กับผลรวมระยะไม้หลัง ของตอนการระดับไม่เกิน 10 ม.
- ความคลาดเคลื่อนระหว่างเที่ยวทำไปกับเที่ยวทำกลับ หรือในการเข้าบรรจบหมุดไม่เกิน 8.4 มม.$\sqrt{K}$ (K=ระยะทางเป็นกิโลเมตร)

o งานสำรวจค่าระดับชั้นที่ 3 (Third Order Levelling) มีข้อกำหนดเฉพาะและมาตรฐานความถูกต้องดังนี้

- เครื่องมือและอุปกรณ์
  - ใช้กล้องระดับอัตโนมัติหรือกล้อง Tilting ซึ่งมีความไวของหลอดระดับ 60 ฟิลิบดา ต่อ 2 มม. หรือดีกว่า
  - ใช้ไม้แบ่งส่วนเมตรแบบธรรมดา
- การปฏิบัติงานสนาม
  - ความยาวของสายการระดับ ไม่เกิน 40 กม.
  - ทำระดับไปและกลับ (Double Run) โดยแบ่งสายระดับออกเป็นตอน ความยาวตอนละ 1-3 กม.
  - การอ่านค่าระดับให้อ่านทั้ง 3 เส้นใย.
  - ระยะไกลสุดระหว่างกล้องกับไม้ระดับ ไม่เกิน 100 เมตร
  - ความต่างระหว่างระยะไม้หน้าและระยะไม้หลัง ไม่เกิน 10 เมตร
  - ความคลาดเคลื่อนระหว่างเที่ยวทำไปกับเที่ยวทำกลับ หรือในการเข้าบรรจบหมุดไม่เกิน 12 มม.$\sqrt{K}$ (K=ระยะทางเป็นกิโลเมตร)

o งานสำรวจค่าระดับชั้นที่ 4 (Fourth Order Levelling) ใช้เครื่องมือและวิธีการวัดเช่นเดียวกับงานสำรวจระดับชั้นที่ 3 และถ้ามีหมุดเข้าบรรจบไม่เกิน 2 กม. ให้ทำเที่ยวเดียว ความคลาดเคลื่อนระหว่างเที่ยวทำไปกับเที่ยวทำกลับ หรือในการเข้าบรรจบหมุดไม่เกิน 20 มม.$\sqrt{K}$

1.2) ชนิดของงาน

1.2.1) งานโยงค่าพิกัด โดยวิธีการวงรอบชั้นที่ 2

(1) การกรุยแนวและสร้างหมุดหลักฐาน

- ค้นหาหมุดหลักฐานที่จะใช้ออกงาน และเข้าบรรจบ ซึ่งเป็นหมุดหลักฐานชั้นที่ 2 หรือชั้นที่สูงกว่า
- กรุยแนวเส้นวงรอบจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว เข้าเขตโครงการพร้อมทั้งกำหนดตำแหน่ง ของหมุดวงรอบและตำแหน่งที่จะสร้างหมุดหลักฐานถาวร
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร แบบ ข. เป็นคู่ทุกระยะ 2 กม.

- สร้างหมุดหลักฐานชั่วคราว ทุกหมุดวงรอบ

(2) การวัดมุมและวัดระยะ

- วัดมุมทุกหมุดวงรอบ
- วัดระยะระหว่างหมุดวงรอบ
- วัดอาซิมุทดาราศาสตร์ หรืออาซิมุทจากดาวเทียมรังวัด เพื่อควบคุมทิศทางของเส้นวงรอบทุก 20 - 25 มุมหรือน้อยกว่า

1.2.2) งานโยงค่าพิกัด โดยวิธีการวงรอบชั้นที่ 3

(1) การกรุยแนวและสร้างหมุดหลักฐาน

- ค้นหาหมุดหลักฐานที่จะใช้ออกงานและเข้าบรรจบ ซึ่งเป็นหมุดหลักฐานชั้นที่ 3 หรือชั้นที่สูงกว่า
- กรุยแนวเส้นวงรอบจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว เข้าเขตโครงการพร้อมทั้งกำหนดตำแหน่ง ของหมุดวงรอบและตำแหน่งที่จะสร้างหมุดหลักฐานถาวร
- สร้างหมุดหลักฐานถาวรแบบ ข. เป็นคู่ทุกระยะ 2 กม.
- สร้างหมุดหลักฐานชั่วคราว ทุกหมุดวงรอบ

(2) การวัดมุมและวัดระยะ

- วัดมุมทุกหมุดวงรอบ
- วัดระยะระหว่างหมุดวงรอบ
- วัดอาซิมุทดาราศาสตร์ หรืออาซิมุทจากดาวเทียมรังวัดเพื่อควบคุมทิศทางของเส้นวงรอบทุก 40 มุม หรือน้อยกว่า

1.2.3) งานโยงค่าระดับ โดยวิธีการระดับชั้นที่ 1

(1) การกรุยแนวและสร้างหมุดหลักฐาน

- ค้นหาหมุดหลักฐาน การระดับชั้นที่ 1 เพื่อใช้ออกงานและเข้าบรรจบ
- กรุยแนวสายการระดับ และกำหนดตำแหน่งที่จะสร้างหมุดหลักฐาน
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร
  - แบบ ก. ทุกระยะ 4–5 กม.
  - แบบ ข. ทุกระยะ 2 กม.

(2) การวัดระดับ

- ในแต่ละตอนการระดับ ทำระดับ 2 เที่ยว(ไปและกลับ)
- เครื่องมือ วิธีการรังวัด และการคำนวณปรับแก้ให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดเฉพาะของงานระดับชั้นที่ 1

1.2.4) งานโยงค่าระดับ โดยวิธีการระดับชั้นที่ 2

(1) การกรุยแนวและสร้างหมุดหลักฐาน

- ค้นหาหมุดหลักฐาน การระดับชั้นที่ 1 หรือชั้นที่ 2 เพื่อใช้ออกงานและเข้าบรรจบ
- กรุยแนวสายการระดับ และกำหนดตำแหน่งที่จะสร้างหมุดหลักฐาน
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร แบบ ข. ทุกระยะ 2 กม.

(2) การวัดระดับ

- เครื่องมือ วิธีการรังวัด และการคำนวณปรับแก้ให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดเฉพาะของงานระดับชั้นที่ 2

1.2.5) งานโยงค่าระดับ โดยวิธีการระดับชั้นที่ 3

(1) การกรุยแนวและสร้างหมุดหลักฐาน

- ค้นหาหมุดหลักฐาน การระดับชั้นที่ 3 หรือชั้นสูงกว่าเพื่อใช้ออกงานและเข้าบรรจบ
- กรุยแนวสายการระดับ และกำหนดตำแหน่งที่จะสร้างหมุดหลักฐาน
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร แบบ ข. ทุกระยะ 2 กม.

(2) การวัดระดับ

- เครื่องมือ วิธีการรังวัด และการคำนวณปรับแก้ให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดเฉพาะของงานระดับชั้นที่ 3

1.2.6) งานโยงค่าพิกัดและระดับ โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 2

(1) งานวงรอบ ปฏิบัติเช่นเดียวกับงานโยงค่าพิกัดด้วยวิธีการวงรอบชั้นที่ 2

(2) งานระดับ ปฏิบัติเช่นเดียวกับงานโยงค่าระดับ โดยวิธีการระดับชั้นที่ 2

1.2.7) งานโยงค่าพิกัดและระดับ โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 3

(1) งานวงรอบ ปฏิบัติเช่นเดียวกับงานโยงค่าพิกัดด้วยวิธีการวงรอบชั้นที่ 3

(2) งานระดับ ปฏิบัติเช่นเดียวกับงานโยงค่าระดับ โดยวิธีการระดับชั้นที่ 3

2) การสำรวจเพื่อการออกแบบ เพื่อทำแผนที่รายละเอียดและเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เช่น แผนที่บริเวณอ่างเก็บน้ำ บริเวณหัวงาน อาคารชลประทาน ระบบกระจายน้ำ ลำน้ำ/ทางน้ำธรรมชาติ ถนนเข้าโครงการและแนวคันกั้นน้ำ เป็นต้น

2.1) การสำรวจทำแผนที่โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ(เพื่อทำแผนที่มาตราส่วน 1:10,000)

2.1.1) วัตถุประสงค์ เพื่อทำแผนที่รายละเอียดและเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศ สำหรับใช้ในการพิจารณาวางโครงการ การพิจารณาความเหมาะสม การออกแบบและแนวอาคารเบื้องต้นของโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำและกิจกรรมอื่นๆ

- ทำการสำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ เช่น ลำน้ำ, ลำห้วย, คลอง, บ้าน, วัด, ปูชนียสถาน, โรงเรียน, อาคารสำคัญๆ, ถนน, ไร่, นา, สวน ฯลฯ
- ทำการสำรวจระดับความสูงของภูมิประเทศครอบคลุมพื้นที่โครงการ เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณากำหนดชนิด ขนาดของอาคารบริเวณหัวงาน ระบบการส่งน้ำ ระบบการระบายน้ำ และอาคารประกอบอื่นๆ

2.1.2) ลักษณะของงาน

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดหาแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร มากำหนดขอบเขตโครงการ โดยกำหนดขอบระวางเป็นวง วงหนึ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 8 กม.^{2}

- กำหนดขอบระวาง ให้กำหนดแนววงรอบไปทางทิศเหนือ–ใต้ ยาว 4 กม. และไปทางทิศตะวันออก–ตก ยาว 2 กม. หรือตามความเหมาะสมของสภาพภูมิประเทศ
- จัดหาค่าพิกัด ค่าระดับ และหมายพยานของหมุดหลักฐานในบริเวณใกล้เคียง เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง
- พล็อตค่าพิกัดและค่าระดับของหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว ลงในแผนที่
- คำนวณปริมาณงานที่จะต้องดำเนินการ เพื่อตั้งประมาณการ และวางแผนงานสำรวจ
- จัดทำแผนที่สารบัญ (Index Map) มาตราส่วนตามความเหมาะสม เพื่อประกอบการเขียนแผนที่ และรายงานความก้าวหน้าของงาน
- จัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์การสำรวจ ให้เหมาะสมกับงาน

(2) การสำรวจงานวงรอบและงานระดับ

- ทำการโยงค่าพิกัดและค่าระดับ จากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้วอย่างน้อย 2 หมุด ไปยังมุมระวางที่กำหนดไว้ตอนต้น จากนั้นให้วางแนววงรอบ และระดับสายหลักครอบคลุมพื้นที่กรอบนอก โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 3 พร้อมฝังหมุดหลักฐานถาวรแบบ ข. เป็นคู่ๆ ไว้ตามมุมของกรอบ
- วางแนววงรอบและระดับสายรองตามขอบระวางที่กำหนดในข้อ การเตรียมงานเบื้องต้น แล้วเข้าบรรจบเป็นวงๆ ประมาณ 1x2 กม. โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 3 พร้อมฝังหมุดหลักฐานถาวร แบบ ข.เป็นคู่ๆ ไว้ทุกมุมของระวาง
- วางแนววงรอบและระดับเลียบตามลำน้ำสายสำคัญๆ ตามถนน ทางรถไฟ(ถ้ามี) และฝังหมุดหลักฐานแบบ ข. เป็นคู่ ตรงบริเวณเส้นวงรอบขอบระวางตัดผ่านไว้ด้วย
- กำหนดวางแผนระดับเส้นหลักตามแนววงรอบขอบระวางด้านทิศเหนือ–ใต้ และตอกหมุดไม้ทุกระยะ 200 ม. เพื่อใช้สำหรับการออกหรือเข้าบรรจบในการสำรวจแนวเส้นซอย
- วางแนวเส้นซอย โดยออกจากหมุดไม้ที่ตอกไว้แล้ว ไปตามแนวทิศตะวันออก–ตก โดยให้ตั้งฉากกับเส้นขอบระวางทิศเหนือ–ใต้ ด้วยเข็มทิศ หรือออกฉากด้วยกล้องวัดมุม แล้วกรุยแนวเส้นซอยวัดระยะ และปักหมุดไม้ทุก ระยะ 40–50 ม.หรือ ณ จุดที่มีระดับภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงมากโดยวิธีงานระดับชั้น 3
- วัดระยะความคลาดเคลื่อนของแนวเส้นซอย ที่เข้าบรรจบหมุด ณ ขอบระวางตรงข้าม ว่าเป็นระยะห่างเท่าใด และบันทึกไว้ เพื่อนำมาพล็อตแนวเส้นซอยให้ถูกต้องตามความเป็นจริง แล้ววัดระยะรวมสุดท้ายของเส้นซอยนั้น เพื่อคำนวณหาจำนวนแก้แต่ละจุด โดยวิธีเฉลี่ยในการพล็อตจุดระดับของเส้นซอย

(3) การฝังหมุดหลักฐาน ให้เป็นไปตามหลักการสร้างหมุดหลักฐานและเพื่อป้องกันการถูกทำลาย ถึงแม้ว่าจะเป็นหมุดหลักฐานมุมระวางก็อนุโลมให้เลื่อนไปยังตำแหน่งที่ปลอดภัยได้ เช่น คันนา หรือมุมเขตที่ดิน

(4) การเก็บรายละเอียดภูมิประเทศ

- เก็บรายละเอียดพร้อมนามศัพท์ตามแนวทั้งสองข้างเส้นสำรวจ โดยวิธีออกฉากหรือส่องสกัดรายละเอียดต่อไปนี้
  - อาคารสำคัญๆ เช่น สถานที่ราชการ วัด โรงเรียน หมู่บ้าน ป่าช้า โบสถ์ฝรั่ง เจดีย์ สะพาน อาคารชลประทาน แนวเหมือง ฝายราษฎร ฯลฯ
  - รายละเอียดทั่วไป เช่น ไร่ นา ป่า สวน ลำน้ำ ลำห้วย หนอง คลอง บึง
  - จำนวนหมู่บ้าน ประชากร ประเภทสิทธิครอบครอง
  - ประเภทป่าไม้และพืชพันธุ์
- ให้ใช้ภาพถ่ายประกอบในการลงรายละเอียด

(5) การเขียนแผนที่

- จัดทำแผนที่ ขนาดมาตรฐาน A1 โดยใช้กระดาษไขขนาดมาตราส่วนของรูป 1:10,000 หรือตามความเหมาะสม
- ลงตำแหน่งหมุดหลักฐานในแผนที่ ตามค่าพิกัดที่คำนวณตรวจสอบแล้ว และเขียนรายละเอียดภูมิประเทศ และเส้นชั้นความสูง
- เขียนรายละเอียดขอบระวางแผนที่ เช่น สารบัญ แผ่นต่อ รายละเอียดการสำรวจ ฯลฯ ตามแบบที่กรมทรัพยากรน้ำกำหนด

2.2) การสำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ (เพื่อทำแผนที่มาตราส่วน 1:4,000 หรือ 1:5,000)

2.2.1) วัตถุประสงค์ เพื่อทำแผนที่รายละเอียด และระดับความสูงของภูมิประเทศในกรณีต่อไปนี้

- แผนที่บริเวณอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีพื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกักไม่เกิน 10 ตารางกิโลเมตร แสดงเส้นชั้นความสูงอย่างน้อย 5 เส้น เพื่อใช้คำนวณหาพื้นที่ผิวและปริมาณความจุของอ่างเก็บน้ำ

2.2.2) ลักษณะของงาน

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดหาแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 หรือใหญ่กว่ามากำหนดขอบเขตโครงการโดยกำหนดเป็นวง วงหนึ่งมีพื้นที่ไม่เกิน 1x2 กม. โดยให้เส้นซอยยาว 1 กม.
- กำหนดขอบระวาง โดยการวางแนววงรอบสายหลักขนาด 2x4 กม.
- จัดหาค่าพิกัด ค่าระดับและหมายพยานของหมุดหลักฐานในบริเวณใกล้เคียงเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง
- คำนวณปริมาณงานสำหรับตั้งประมาณการ และวางแผนงานสำรวจ
- พล็อตค่าพิกัดและค่าระดับของหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้วลงในแผนที่
- จัดทำแผนที่สารบัญ (Index Map) มาตราส่วนตามความเหมาะสม เพื่อประกอบการเขียนแผนที่ และรายงานความก้าวหน้าของงาน
- จัดหาเครื่องมืออุปกรณ์การสำรวจที่จำเป็นและเหมาะสมกับงาน

(2) การสำรวจงานวงรอบและงานระดับ

- ทำการโยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว ไปยังขอบระวาง ที่กำหนดไว้ตอนต้น จากนั้นให้วางแนววงรอบและแนวระดับสายหลักครอบคลุมพื้นที่กรอบนอก โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 3
- วางแนววงรอบและระดับสายรองตามขอบระวางที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการเตรียมงานเบื้องต้น ให้เข้าบรรจบเป็นวงๆขนาด 1x2 กม. โดยวิธีการวงรอบและการระดับชั้นที่ 3 พร้อมฝังหมุดหลักฐานถาวร แบบ ก. เป็นคู่ ตรงบริเวณแนวแกนเขื่อน และฝังหมุดหลักถาวรแบบ ข. เป็นคู่ ตรงบริเวณเส้นวงรอบขอบระวางตัดผ่านไปด้วย
- กำหนดวางแนวระดับสายหลักและตอกหมุดไม้เพื่อออกเส้นซอยตามแนววงรอบขอบระวางทุกระยะ 80 ม.
- วางแนวเส้นซอยให้ตั้งฉากกับเส้นระวางด้วยเข็มทิศหรือกล้องวัดมุม แล้ววัดระยะตามแนวเส้นซอยที่กรุยไว้ พร้อมทั้งปักหมุดไม้ทุกระยะ 40 ม.หรือ ณ จุดที่มีระดับภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงมาก โดยวิธีงานระดับชั้นที่ 3
- วัดระยะความคลาดเคลื่อนของแนวเส้นซอยที่เข้าบรรจบหมุด ณ ขอบระวางตรงข้ามว่าเป็นระยะห่างเท่าได และบันทึกไว้เพื่อนำมาพล็อตแนวเส้นซอยให้ถูกต้องตามความเป็นจริง แล้ววัดระยะรวมสุดท้ายของเส้นซอยนั้น เพื่อคำนวณหาจำนวนแก้แต่ละจุดโดยวิธีเฉลี่ย ในการพล็อตจุดระดับของเส้นซอย
- ในกรณีสำรวจเพื่อการออกแบบคัน-คูน้ำ ให้สำรวจรูปตัดลำน้ำธรรมชาติทุกระยะ 100 ม.หรือตามความเหมาะสม

(3) การฝังหมุดหลักฐาน ทำเช่นเดียวกับรายละเอียดในลักษณะงาน

(4) การเก็บรายละเอียดภูมิประเทศ ทำเช่นเดียวกับรายละเอียดในลักษณะงาน

(5) การเขียนแผนที่ ทำเช่นเดียวกับรายละเอียดในลักษณะงาน

2.3) การสำรวจพื้นที่บริเวณหัวงาน(เพื่อทำแผนที่มาตราส่วน 1:1,000 ถึง 1:2,000)

2.3.1) วัตถุประสงค์ เพื่อทำแผนที่รายละเอียดและระดับความสูงของภูมิประเทศ ณ บริเวณที่จะสร้างเขื่อน ประตูระบายน้ำ ทำนบ ฝาย ทางรับน้ำเข้าและทางระบายน้ำออกจากหนอง บึง ที่ทำการบ้านพัก ฯลฯ สำหรับใช้ในการพิจารณาออกแบบที่ตั้งอาคารนั้นๆ

2.3.2) ลักษณะของงาน

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- เตรียมแผนที่โครงการที่ส่วนพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำมีอยู่ กำหนดขอบเขตประมาณ 200x1,000 ม. และที่ตั้งอาคารต่างๆ
- จัดหาค่าพิกัด ค่าระดับ และหมายพยานของหมุดหลักฐาน ในขอบเขตงานหรือบริเวณใกล้เคียงเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง
- พล็อตค่าพิกัด และค่าระดับของหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้วลงในแผนที่โครงการ
- คำนวณปริมาณงานที่ต้องดำเนินการ เพื่อตั้งงบประมาณและวางแผนงานสำรวจ

(2) การสำรวจงานวงรอบและงานระดับ

- ทำการโยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว ไปยังขอบเขตโครงการที่ส่วนพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำกำหนด โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 3
- วางแนวศูนย์กลางอาคาร พร้อมฝังหมุดหลักฐานถาวรแบบ ก. ไว้อย่างน้อย 1 คู่และควรเขียนค่าระดับไว้ที่หมุดหลักฐาน หลังการคำนวณปรับแก้แล้ว
- วางแนวเส้นฐานขอบเขตหัวงานให้ตั้งฉากจากจุดปลายแนวศูนย์กลางทั้ง 2 ข้าง ออกไปข้างละประมาณ 50 ม. ทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ จนสุดเขตตามแบบกำหนด กำหนดวางแนวระดับสายหลักและตอกหมุดไว้ เพื่อออกเส้นซอยทุกระยะ 20-40 ม. และกรุยแนวเส้นฐานเชื่อมปลายทั้ง 2 ข้างให้เป็นกรอบสี่เหลี่ยม พร้อมทั้งสร้างหมุดหลักฐานถาวรแบบ ข. เป็นคู่ทุกมุมขอบเขตโครงการ
- กรุยแนวเส้นซอยให้ขนานกับแนวศูนย์กลาง จนถึงขอบเขตหัวงานอีกด้านหนึ่ง แล้วรังวัดระดับทุกระยะ 10-20 ม. หรือทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมากและให้วัดระยะความคลาดเคลื่อนของแนวเส้นซอยที่เข้าบรรจบหมุดขอบเขตหัวงานเพื่อนำมาพล็อตให้ได้แนวและระยะจริงตรงกับภูมิประเทศ

(3) การรังวัดรูปตัดขวาง

- วางแนววงรอบและระดับเลียบลำน้ำ โดยออกจากแนวศูนย์กลางอาคารไปทางด้านเหนือน้ำ 400 ม. และด้านท้ายน้ำ 600 ม. และกำหนดจุดรูปตัดขวางทุกระยะ 25 ม.
- กรุยแนวรูปตัดขวาง ให้ตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางลำน้ำ และต่อปีกรูปตัดออกไปด้านละ 50 เมตร แล้วรังวัดระดับทุกระยะ 5 ม. หรือทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก
- บันทึกสถิติระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุด ตลอดจนระดับน้ำและวัน เวลา ขณะที่ทำการสำรวจ และให้ระบุด้วยว่าระดับน้ำและคราบระดับน้ำสูงสุดที่หาได้นั้น เป็นสถิติใน พ.ศ. ใดจำนวน 3 จุด

(4) การเก็บรายละเอียดภูมิประเทศ

- ทำเช่นเดียวกับรายละเอียดในลักษณะงาน
- บันทึกสถิติระดับน้ำสูงสุดบนอาคารต่างๆที่อยู่ในลำน้ำและจดรายละเอียดต่างๆของอาคารด้วย

(5) การเขียนแผนที่

- การเขียนแผนที่รายละเอียดและเส้นชั้นความสูงของภูมิประเทศ ทำเช่นเดียวกับรายละเอียดในลักษณะงาน
- การเขียนแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศของลำน้ำทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ มาตราส่วนและเส้นชั้นความสูง ชั้นละ 0.5-1.0 ม.หรือตามความเหมาะสม
- เขียนแผนที่รูปตัดตามยาว มาตราส่วนทางตั้ง 1:100 ทางราบเท่ากันกับมาตราส่วนของแผนที่ โดยแสดงระดับตลิ่งซ้าย แนวศูนย์กลางและตลิ่งขวา

- เขียนแผนที่รูปตัดขวาง มาตราส่วนทั้งทางตั้งและทางราบ 1:100 โดยแสดงลักษณะตลิ่งซ้าย ก้นลำน้ำและตลิ่งขวา ระดับน้ำขณะสำรวจและระดับน้ำสูงสุด ทุกระยะ 100 ม.หรือทุกระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก
- เขียนแผนที่รูปตัดขวางแสดงระดับน้ำขณะสำรวจและระดับน้ำสูงสุด จำนวน 3 จุด

2.4) การสำรวจพื้นที่อาคารชลประทาน(เพื่อทำแผนที่มาตราส่วน 1:500)

2.4.1) วัตถุประสงค์ เพื่อใช้ในการออกแบบอาคารชลประทานต่างๆ เช่นประตูระบายน้ำ ท่อลอด สะพานน้ำ จุดที่แนวคลอง แนวถนน หรือแนวคันกั้นน้ำ ตัดผ่านถนน ลำน้ำ ซึ่งจะมีขนาด 100x100 ม.หรือขนาดที่เหมาะสมกับตัวอาคารชลประทาน

2.4.2) ลักษณะของงาน

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- เตรียมแผนที่โครงการที่ผู้ออกแบบ กำหนดขอบเขตและที่ตั้งอาคารต่างๆ
- จัดหาค่าพิกัด ค่าระดับและหมายพยานของหมุดหลักฐาน บริเวณใกล้เคียงเพื่อใช้ในการออกและเข้าบรรจบงาน

(2) การสำรวจงานวงรอบและงานระดับ

- เลือกหาและกำหนดจุดศูนย์กลางของอาคารที่จะทำการก่อสร้างในภูมิประเทศ และต่อแนวเส้นฐานออกจากจุดศูนย์กลางออกไปข้างละ 50 ม.
- วางแนวเส้นฐานขอบเขตงานให้ตั้งฉากจากจุดปลายแนวศูนย์กลางทั้งสองข้างออกไปด้านละ 50 ม. และกรุยแนวเส้นฐานเชื่อมปลายทั้งสองข้างให้เป็นกรอบสี่เหลี่ยม
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร แบบ ข. ทรงสี่เหลี่ยมในแนวศูนย์กลางและมุมทั้ง 4 ของขอบเขตผังบริเวณ
- โยงค่าพิกัด และค่าระดับ จากหมุดหลักฐานบริเวณใกล้เคียงที่ทราบค่าแล้ว ไปยังหมุดหลักฐานที่สร้างไว้ทุกหมุด โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 3
- วางแนววงรอบและระดับเลียบลำน้ำ โดยออกจากแนวศูนย์กลางไปทางเหนือน้ำและท้ายน้ำ จนสุดขอบเขตผังบริเวณ
- กำหนดวางแนวระดับสายหลักและตอกหมุดไม้เพื่อออกเส้นซอยทุกระยะ 10 ม. ตามแนวเส้นฐาน ตามลำน้ำ
- กรุยแนวเส้นซอยให้ตั้งฉากกับแนวเส้นฐาน จนสุดขอบเขตผังบริเวณอีกด้านหนึ่ง แล้วรังวัดระดับทุกระยะ 5–10 ม. หรือทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก

(3) การเก็บรายละเอียดภูมิประเทศ ทำเช่นเดียวกับรายละเอียดในลักษณะงาน

(4) การรังวัดรูปตัดขวาง

- กำหนดตำแหน่งเพื่อสำรวจรูปตัดลักษณะลำน้ำทุกระยะ 20 ม. ตามแนวศูนย์กลางลำน้ำไปทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ข้างละไม่น้อยกว่า 2 รูปและบันทึกระดับน้ำสูงสุดด้วย

- รังวัดระดับตามแนวรูปตัดขวางให้ตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางลำน้ำและต่อปีกรูปตัดออกไปด้านละ 50 ม. แล้วรังวัดระดับทุกระยะ 5 ม. และทุกจุดที่ภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงมาก

(5) การเขียนแผนที่

- เขียนแผนที่มาตราส่วน 1:500 แสดงรายละเอียดภูมิประเทศ และความสูงต่ำของพื้นที่ด้วยเส้นชั้นความสูง ชั้นละ 0.25-0.50 ม.หรือตามความเหมาะสม
- เขียนแผนที่แสดงรูปตัดของลำน้ำ มาตราส่วนทั้งทางตั้งและทางราบ 1:100 และระดับน้ำสูงสุดตามที่สำรวจ

2.5) การสำรวจระบบกระจายน้ำ

2.5.1) วัตถุประสงค์ เพื่อจัดทำแผนที่รายละเอียดและระดับภูมิประเทศของแนวระบบกระจายน้ำ(Strip Topographic Map) ใช้ในการกำหนด หรือเลือกแนวระบบส่งน้ำ กระจายน้ำที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการออกแบบระบบกระจายน้ำ

2.5.2) ลักษณะของงาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

o ประเภทที่มีแผนที่โครงการ (มาตราส่วน 1:4,000–1:10,000)

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดเตรียมแผนที่โครงการที่ผู้ออกแบบกำหนดแนวมาให้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสำรวจวางแนวระบบกระจายน้ำ พร้อมทั้งรายละเอียดและข้อมูลต่างๆ เช่น ระดับ Full Supply ตำแหน่งของอาคารต่างๆ ความลาดเทของระบบกระจายน้ำ
- จัดหาค่าพิกัด ค่าระดับ และหมายพยานของหมุดหลักฐาน ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง
- คำนวณหาค่ามุมเบน และระยะจากหมุดหลักฐาน ไปยังจุดเริ่มต้น และจุด PI. ทุกจุดโดยต่อเนื่องกันจนตลอดแนว

(2) การสำรวจวางแนว

- ทำการโยงค่าพิกัด และระดับจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว ไปยังจุด ต้นคลอง ที่ผู้ออกแบบฯ กำหนด
- วางแนวศูนย์กลาง วัดมุม วัดระยะ จากจุดต้นคลอง (กม.0+000) ไปยังจุด PI. ทุกจุดโดยต่อเนื่องกัน
- การวางแนวจากจุดถึงจุด ให้ใช้วิธีเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวา(Double Centering)พร้อมกับทำการวัดมุมทุกครั้ง
- ในกรณีที่ระบบกระจายน้ำยาวมาก ให้หาหมุดหลักฐานเข้าบรรจบหรือเข้าบรรจบตัวเอง เพื่อตรวจสอบงานทุก 3–4 กม. โดยวิธีการวงรอบและระดับชั้นที่ 3
- กรุยแนววัดระยะเพื่อสำรวจรูปตัดขวาง โดยให้ตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางระบบกระจายน้ำ ทุกระยะ 25 ม. ในกรณีภูมิประเทศเป็นลูกเนินให้ทำรูปตัดขวาง ทุกระยะ 5-10 ม. และต่อปีกออกไปทั้งสองข้างๆละ 50 ม.

▪ เมื่อแนวศูนย์กลางตัดผ่านลำน้ำ ถนน ทางรถไฟ ให้รังวัดมุมเฉ (Skew) และระยะ กม.ของถนน ทางรถไฟ ไว้ด้วย ทั้งนี้มุมเฉต้องไม่เกิน 30 องศาจากแนวตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางระบบกระจายน้ำ จากนั้นให้สำรวจแผนที่ผังบริเวณ (Site Plan) ขนาด 100x100 ม. มาตราส่วน 1:500 ไว้ด้วย

▪ ในกรณีที่แนวศูนย์กลางหรือเขตระบบกระจายน้ำ ผ่านสถานที่สำคัญ เช่น วัด หรือ ที่ธรณีสงฆ์ โบสถ์ ป่าช้า โรงเรียน ฯลฯ ให้รีบรายงานผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้างโดยด่วน เพื่อออกไปพิจารณาแก้ไขแนวตามความเหมาะสม

▪ กรณีเป็นคลองส่งน้ำมีรัศมีความโค้งของคลอง(Radius of Curvature)ต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของความกว้างผิวน้ำในคลอง ถ้าน้อยกว่าต้องปรึกษาผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้างก่อน

▪ การวางโค้ง การกำหนดระยะเส้นสัมผัส ให้ปฏิบัติตามหลักวิชาการ และกฎเกณฑ์ที่ผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้างได้วางไว้

(3) การสร้างหมุดหลักฐานและหมายพยาน

▪ ตอกหมุดไม้ทุกระยะ 25 ม. ตามแนวศูนย์กลางระบบกระจายน้ำ เพื่อการสำรวจรูปตัดขวาง

▪ ฝังหมุดหลักฐานถาวร แบบ ข. ณ จุดต้นคลอง จุด PI. จุดสิ้นสุด และในแนวตรงให้ฝังหมุดทรงสี่เหลี่ยมทุกระยะประมาณ 500 ม. โดยให้อยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย

▪ ฝังหมุดหลักฐานถาวร แบบ ก. เป็นคู่ ตามแนว PC.–PI. หรือ PI.–PT. หรือทุกระยะไม่เกิน 5,000 ม. ให้อยู่นอกเขตคลองแนวใดแนวหนึ่ง ที่เห็นว่าเหมาะสมและปลอดภัยเพื่อใช้สำหรับอ้างอิง

▪ ให้ทำหมายพยานหมุดหลักฐาน พร้อมคำอธิบายที่ตั้งไว้โดยละเอียด

(4) การรังวัดระดับ

▪ รังวัดระดับตามแนวศูนย์กลาง ทุกระยะ 25 ม. จุดเริ่มต้น จุด PI. จุดสิ้นสุดและหมุดหลักฐานทุกหมุด

▪ รังวัดระดับตามแนวรูปตัดขวางทุก 5–10 ม. และทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก

▪ ณ ตำแหน่งที่ศูนย์กลางระบบกระจายน้ำ ผ่านถนน ทางรถไฟ ให้ทำระดับหลังถนน เชิงลาดถนน หรือสันรางรถไฟ ถ้าเป็นลำน้ำให้ทำระดับที่ตลิ่งซ้าย ตลิ่งขวาและก้นคลอง

▪ บันทึกสถิติระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดบริเวณใกล้เคียง ตลอดจนระดับน้ำ และวัน เวลาขณะที่ทำการสำรวจ และให้ระบุด้วยว่าระดับน้ำ และคราบน้ำสูงสุดที่หาได้นั้นเป็นสถิติใน พ.ศ. ใด

(5) การเก็บรายละเอียด

▪ การเก็บรายละเอียดภูมิประเทศทั้งสองข้างแนวศูนย์กลาง และแนวรูปตัดทุกเส้นอย่างละเอียด

(6) การคำนวณรายละเอียดโค้ง(Data of Curve)

▪ ให้นำค่าพิกัดฉาก ณ จุด PI. มาคำนวณหาระยะ และBearing ระหว่าง PI. เพื่อใช้เป็นรายละเอียดโค้งในการคำนวณและเขียนแผนที่

(7) การเขียนแผนที่

▪ เขียนแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศของระบบกระจายน้ำ มาตราส่วน 1:4,000 หรือตามความเหมาะสม เส้นชั้นความสูง ชั้นละ 1 ม. หรือตามความเหมาะสม

▪ เขียนแผนที่แสดงรูปตัดตามยาว มาตราส่วนทางตั้ง1:100 และทางราบ 1:4,000 ให้อยู่ส่วนล่างของกระดาษในแผ่นเดียวกับแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศ

▪ ในกรณีที่ใช้คลองธรรมชาติ หรือเหมืองเป็นคลองส่งน้ำ ให้เขียนแผนที่แสดงรูปตัดขวาง มาตราส่วนทั้งทางตั้งและทางราบ 1:100 ทุกระยะ 100 ม.หรือตามความเหมาะสม

▪ เขียนรายละเอียดขอบระวางแผนที่ เช่น สารบัญ แผ่นต่อ รายละเอียดการสำรวจ เป็นต้น ตามแบบที่กรมทรัพยากรน้ำกำหนด

o ประเภทที่ไม่มีแผนที่โครงการ

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

▪ นำแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งออกแบบกำหนดจุดเริ่มต้นและแนวระบบกระจายน้ำโดยประมาณ ความลาดเทของระบบกระจายน้ำพร้อมกับระดับ Full Supply มาทำการสำรวจวางแนวระบบกระจายน้ำ

▪ ทำการคำนวณ ทำตารางสำเร็จ ความลดลาดของระบบกระจายน้ำไว้

(2) การสำรวจวางแนว

◊ การสำรวจวางแนวระบบกระจายน้ำ

▪ โยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานใกล้เคียงไปยังจุดเริ่มต้น

▪ กรุยแนว วัดระยะ ทำระดับศูนย์กลางระบบกระจายน้ำ จากจุดปากคลองโดยใช้กล้องระดับส่ายหาความลดลาด(Slope)ของพื้นที่ทุกระยะ 50 ม. โดยให้ระดับพื้นดินที่ทำการรังวัดไม่สูงหรือต่ำกว่า 50 ซม.จากระดับที่ต้องการ

▪ วัดมุม วัดระยะ ตามแนวที่ทำการสำรวจส่ายหาไว้แล้ว พร้อมกำหนดจุดสำหรับสำรวจรูปตัดขวางทุกระยะ 50 ม. ต่อปีก 2 ข้างๆละ 50 ม.

▪ รังวัดระดับตามแนวรูปตัดขวางทุกระยะ 25 ม.

▪ เขียนแผนที่แสดงรูปตัดตามยาว และรูปตัดขวางของแนวระบบกระจายน้ำ มาตราส่วน 1:4,000 เส้นชั้นความสูง ชั้นละ 1 ม.

▪ ส่งแผนที่รูปตัดตามยาว ให้ผู้ออกแบบกำหนดแนวระบบกระจายน้ำ

◊ การสำรวจวางแนวจริง

▪ ให้ดำเนินการเช่นเดียวกันกับการสำรวจวางแนวระบบกระจายน้ำ ประเภทที่มีการแผนที่โครงการ ในกรณีที่แนวเปลี่ยนแปลงไปมาก ให้สำรวจรูปตัดขวางเพิ่ม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของช่างสำรวจ

2.6) การสำรวจลำน้ำ/ทางน้ำธรรมชาติ

2.6.1) วัตถุประสงค์ เพื่อให้ทราบถึงสภาพลักษณะรูปร่าง ขนาดลำน้ำ ความลาดเทและรายละเอียดภูมิประเทศทั้ง 2 ฝั่งของลำน้ำ สำหรับใช้ในการพิจารณาวางโครงการป้องกันอุทกภัย การวางโครงการระบายน้ำ การแปรสภาพลำน้ำ ตลอดจนเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาออกแบบและเพื่อศึกษาผลกระทบจากอิทธิพลของน้ำในลำน้ำนั้น

2.6.2) ลักษณะของงาน

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดเตรียมแผนที่โครงการหรือแผนที่ภาพถ่าย มาตราส่วน 1:50,000 ให้คลุมพื้นที่บริเวณที่จะทำการสำรวจ
- จัดหาค่าพิกัด ค่าระดับ และหมายพยานของหมุดหลักฐานในบริเวณใกล้เคียง เพื่อใช้ในการโยงค่าพิกัดและระดับ

(2) การสำรวจวางแนว

- ทำการโยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว ไปยังจุดเริ่มต้นของลำน้ำที่จะทำการสำรวจ
- ทำการกรุยแนว วัดมุม วัดระยะตามแนวเส้นสัณฐานที่วางเลียบลำน้ำฝั่งใดฝั่งหนึ่ง โดยพยายามให้เส้นฐานเลียบใกล้ลำน้ำมากที่สุด เพื่อให้สามารถเก็บรูปร่างลำน้ำได้อย่างละเอียด
- กรณีที่ลำน้ำมีความกว้างเกิน 50 ม. ให้วางเส้นฐานเลียบลำน้ำทั้ง 2 ฝั่ง
- ทำการเก็บรายละเอียดรูปร่างลักษณะของลำน้ำและภูมิประเทศข้างเคียงทั้ง 2 ฝั่งของลำน้ำนั้นโดยละเอียด
- ถ้าลำน้ำมีความยาวมาก ให้เข้าบรรจบหมุดหลักฐานเพื่อตรวจสอบผลงานทุกระยะ 3-4 กม. โดยวิธีการวงรอบชั้นที่ 3
- นำผลสำรวจมาเขียนแผนที่รูปร่างลักษณะลำน้ำมาตราส่วน 1:4,000 หรือใหญ่กว่า เพื่อให้สามารถกำหนดแนวศูนย์กลางลำน้ำและตำแหน่งรูปตัดขวางได้ละเอียดถูกต้องยิ่งขึ้น
- กำหนดระยะ กม.(Stationing) จากจุดเริ่มต้นของงานตามแผนงานสำรวจนั้น ณ แนวศูนย์กลางลำน้ำ โดยให้ถือ กม.0+000 อยู่ด้านเหนือสุดของลำน้ำที่ทำการสำรวจแล้ววัดระยะด้วยปากคีบวัดระยะ(Divider) นับระยะต่อเนื่องมาตามแนวศูนย์กลางลำน้ำ กำหนดจุดทุกระยะทุกระยะ 100 ม. และกำหนดจุดตำแหน่งที่จะทำการสำรวจรูปตัดขวางทุกระยะ 100 ม. 200 ม.หรือตามความประสงค์ของผู้ใช้งาน พร้อมกับขีดแนวรูปตัดขวางในแผนที่ซึ่งเตรียมไว้ โดยให้แนวรูปตัดขวางตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของลำน้ำนั้น
- คำนวณหรือวัดระยะ วัดง่ามมุมโดยตรงจากแผนที่ที่ได้กำหนดรูปตัดขวางไว้แล้ว เพื่อหาระยะห่างจากหมุดเส้นฐานกับหาง่ามมุมระหว่างแนวทั้ง 2 นั้น แล้วบันทึกไว้เพื่อนำไปกำหนดจุดและแนวรูปตัดในภูมิประเทศ

(3) การสำรวจวางแนวรูปตัด

▪ กำหนดจุดรูปตัดในภูมิประเทศให้ตรงกับตำแหน่งที่กำหนดไว้ในแผนที่การสำรวจวางแนว ด้วยระยะง่ามมุมและแนวทิศที่บันทึกไว้แล้ว

▪ ต่อปีกรูปตัดไปตามแนวที่กำหนดทั้ง 2 ฝั่ง ความยาวปีกรูปตัดด้านละ 100 ม.หรือตามความจำเป็นของงาน

▪ ตอกหมุดไม้เพื่อกำหนดระยะในแนวรูปตัด โดยถือระยะศูนย์ที่ตลิ่งซ้ายออกไปทุกระยะ 25 ม. จากขอบตลิ่งหรือจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก

(4) การสร้างหมุดหลักฐานและหมายพยาน

▪ ตอกหมุดไม้ทุกระยะ 100 ม. ตามแนวศูนย์กลางลำน้ำ เพื่อสำรวจรูปตัดขวาง

▪ ฝังหมุดหลักฐานถาวรแบบ ข. ณ จุดต้นคลอง จุด PI. จุดสิ้นสุดและในแนวตรงให้ฝังหมุดทรงสี่เหลี่ยมทุกระยะประมาณ 500 ม. โดยให้อยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย

▪ ฝังหมุดหลักฐานถาวรแบบ ก. เป็นคู่ ตามแนว PC.-PI. หรือ PI.-PT. หรือทุกระยะ ไม่เกิน 5,000 ม. ให้อยู่นอกเขต1คลองแนวใดแนวหนึ่งที่เห็นว่าเหมาะสมและปลอดภัยเพื่อใช้สำหรับอ้างอิง

▪ ให้ทำหมายพยานหมุดหลักฐาน พร้อมคำอธิบายที่ตั้งไว้โดยละเอียด

(5) การรังวัดระดับ

▪ รังวัดระดับตามแนวศูนย์กลางทุกระยะ 100 ม. จุดเริ่มต้น จุด PI. จุดสิ้นสุดและหมุดหลักฐานทุกหมุด

▪ รังวัดระดับตามแนวรูปตัดขวางทุกระยะ 25 ม.และทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมากให้โยงค่าระดับ ใส่ไว้บนหลังถนน สันรางรถไฟ คันดินทั้งสองข้าง ของคลองส่งน้ำและอาคารก่อสร้างอื่นๆ ไว้ทุกแห่งด้วย

▪ ณ ตำแหน่งที่ศูนย์กลางลำน้ำผ่านถนน ทางรถไฟ ให้ทำระดับหลังถนน เชิงลาดถนนหรือสันทางรถไฟ ถ้าเป็นลำน้ำให้ทำระดับตลิ่งซ้ายตลิ่งขวาและก้นลำน้ำ

▪ บันทึกสถิติระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดบริเวณใกล้เคียง ตลอดจนระดับน้ำและวัน เวลาขณะที่ทำการสำรวจและให้ระบุด้วยว่าระดับน้ำและคราบน้ำสูงสุดที่หาได้นั้นเป็นสถิติ พ. ศ. เท่าใด

(6) การเก็บรายละเอียด

▪ เก็บรายละเอียดภูมิประเทศทั้ง 2 ข้างแนวศูนย์กลางและแนวรูปตัดทุกเส้นอย่างละเอียด

(7) การเขียนแผนที่

▪ เขียนแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศของลำน้ำ มาตราส่วน 1:4,000 แสดงเส้นชั้นความสูงชั้นละ 1 ม.หรือตามความเหมาะสมพร้อมแสดงรายละเอียดสำรวจไว้ด้วย

▪ เขียนแผนที่รูปตัดตามยาว มาตราส่วนทางตั้ง 1:100 ทางราบ 1:4,000 โดยแสดงระดับตลิ่งซ้าย แนวศูนย์กลางลำน้ำและตลิ่งขวา ให้อยู่ส่วนล่างของกระดาษในแผ่นเดียวกันกับแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศ

- เขียนแผนที่รูปตัดขวาง มาตราส่วนทั้งทางตั้งและทางราบ 1:100 ในแผ่นแยกทุกระยะ 100 ม.หรือตามผู้ออกแบบต้องการ
- แสดงรายละเอียดค่าระดับพื้นดินบริเวณลำน้ำ ลักษณะตลิ่ง ระดับน้ำขณะทำการสำรวจ ระดับน้ำสูงสุด

2.7) การสำรวจถนนเข้าโครงการ

2.7.1) วัตถุประสงค์ เพื่อสำรวจรายละเอียดของภูมิประเทศ และลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่ตามแนวที่จะสร้างถนน และบริเวณใกล้เคียง เพื่อประกอบการพิจารณาออกแบบ

2.7.2) ลักษณะของงาน

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดเตรียมแผนที่โครงการ มาตราส่วน 1:500-1:10,000 ที่ผู้ออกแบบกำหนดแนวถนนไว้แล้ว เพื่อนำไปใช้เป็นหลักในการวางแนวหรือเลือกแนว
- จัดหาค่าพิกัดและระดับของหมุดหลักฐานในบริเวณใกล้เคียง เพื่อใช้ในการออกงานและเข้าบรรจบงาน
- คำนวณหาค่ามุมเบนและระยะจากหมุดหลักฐาน ไปยังจุดเริ่มต้น(กม.0+000) และจุดสกัด(PI.)ทุกๆ จุดต่อเนื่องกันไปสุดแนว

(2) การสำรวจวางแนว

- ทำการโยงค่าพิกัดและระดับจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว ไปยังจุดเริ่มต้น ตามที่ผู้ออกแบบกำหนด
- กรุยแนว วัดมุมและวัดระยะจากจุดเริ่มต้น(กม.0+000หรือกม. ตามความเหมาะสม) ไปยังจุด PI. ทุกจุดต่อเนื่องกัน
- การวางแนวจากจุดถึงจุด ให้ใช้วิธีเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวา(Double Centering) พร้อมกับทำการวัดมุมทุกครั้ง
- สำรวจรูปตัดขวาง โดยให้ตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางทุกระยะ 25 ม. และต่อปีกออกไป 2 ข้างๆ ละ 25 ม.
- เมื่อแนวศูนย์กลางตัดผ่านลำน้ำ ถนน ทางรถไฟ ให้รังวัดมุมเฉ(Skew) และระยะกม. ของถนน ทางรถไฟไว้ด้วย ทั้งนี้มุมเฉต้องไม่เกิน 30°(ในกรณีที่เกิน 30° ให้ปรึกษาผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้าง) จากนั้นให้สำรวจผังบริเวณ ขนาดประมาณ 100x100 ม. มาตราส่วน 1:500 ไว้ด้วย
- ในกรณีที่แนวศูนย์กลางหรือเขตถนน ผ่านสถานที่สำคัญๆ เช่น วัด หรือที่ธรณีสงฆ์ โบสถ์ ป่าช้า โรงเรียน ฯลฯ ให้รีบรายงานผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้างโดยด่วน เพื่อออกไปพิจารณาแก้ไขแนวตามความเหมาะสม
- รัศมีความโค้งของถนนบนภูเขา ต้องไม่น้อยกว่า 25 ม. ถ้าน้อยกว่าต้องปรึกษาผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้างก่อน
- การวางโค้ง การกำหนดระยะเส้นสัมผัส ให้ปฏิบัติตามหลักวิชาการและกฎเกณฑ์ที่กรมทรัพยากรน้ำได้วางไว้

(3) การสร้างหมุดฐานและหมายพยาน

- ตอกหมุดไม้ทุกระยะ 25 ม. ตามแนวศูนย์กลางถนน เพื่อการสำรวจรูปตัดขวาง
- ฝังหมุดหลักฐานถาวร แบบ ข. ณ จุดต้นถนน จุดเริ่มต้น จุด PI. จุดสิ้นสุดและในแนวตรงให้ฝังหมุดทรงสี่เหลี่ยมทุกระยะประมาณ 500 ม. โดยให้อยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย
- ให้ทำหมายพยานหมุดหลักฐาน พร้อมคำอธิบายที่ตั้งไว้โดยละเอียด

(4) การรังวัดระดับ

- รังวัดระดับตามแนวศูนย์กลาง ทุกระยะ 25 ม. จุดเริ่มต้น จุดPI. จุดสิ้นสุดและหมุดหลักฐานทุกหมุด
- รังวัดระดับตามแนวรูปตัดขวางทุก 5–10 ม.และทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก
- ณ ตำแหน่งที่ศูนย์กลางถนนผ่านถนน ทางรถไฟ ให้ทำระดับหลังถนน เชิงลาดถนนหรือสันรางรถไฟ
- บันทึกสถิติระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุด ตลอดจนระดับน้ำและวัน เวลาขณะที่ทำการสำรวจและให้ระบุด้วยว่าระดับน้ำและคราบน้ำสูงสุด ที่หาได้นั้นเป็นสถิติ พ.ศ. ใด

(5) การเก็บรายละเอียด

- เก็บรายละเอียดภูมิประเทศทั้ง 2 ข้างแนวศูนย์กลางถนนและแนวรูปตัดทุกเส้นอย่างละเอียด

(6) การคำนวณรายละเอียดโค้ง(Data of Curve)

- ให้นำค่าพิกัดฉาก ณ จุด PI. มาคำนวณหาระยะและBearing ระหว่าง PI. เพื่อใช้เป็นรายละเอียดโค้งในการคำนวณและเขียนแผนที่

(7) การเขียนแผนที่

- เขียนแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศของแนวถนน มาตราส่วน 1:4,000 หรือตามความเหมาะสม เส้นชั้นความสูง ชั้นละ 1 ม. โดยแสดงค่าระดับของรูปตัดขวางไว้ด้วย
- เขียนแผนที่แสดงรูปตัดตามยาว มาตราส่วนทางตั้ง 1:100 และทางราบ 1:4,000 หรือตามความเหมาะสม ให้อยู่ส่วนล่างของกระดาษในแผ่นเดียวกับแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศ
- ในกรณีที่ใช้แนวถนนเดิม ให้เขียนแผนที่แสดงรูปตัดขวาง มาตราส่วนทั้งทางตั้งและทางราบ 1:100
- เขียนรายละเอียดขอบระวางแผนที่เช่น สารบัญ แผ่นต่อ รายละเอียดการสำรวจ เป็นต้น ตามแบบที่กรมทรัพยากรน้ำกำหนด

2.8) การสำรวจวางแนวคันกั้นน้ำ

2.8.1) วัตถุประสงค์ เพื่อสำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ และลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่ตามแนวที่จะสร้างคันกั้นน้ำและบริเวณใกล้เคียง เพื่อประกอบการพิจารณาออกแบบ

2.8.2) ลักษณะของงาน

(1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดเตรียมแผนที่โครงการ มาตราส่วน 1:500-1:10,000 ที่ออกแบบขีดแนวคันกั้นน้ำไว้แล้ว เพื่อนำไปใช้เป็นหลักในการวางแนวคันกั้นน้ำ
- จัดหาค่าพิกัดและค่าระดับของหมุดหลักฐานในบริเวณใกล้เคียง เพื่อใช้ในการออกและเข้าบรรจบงาน
- คำนวณหามุมเบนและระยะจากหมุดหลักฐานไปยังจุดเริ่มต้นและจุดสกัด(PI.)ทุกๆ จุดต่อเนื่องกันไปจนสุดแนว

(2) การสำรวจวางแนว

- ทำการโยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานที่ทราบค่าแล้ว ไปยังจุดเริ่มต้นคันกั้นน้ำ(กม.0+000) ที่ผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้างกำหนด
- กรุยแนว วัดมุมและวัดระยะจากจุดเริ่มต้น(กม.0+000หรือกม.ตามความเหมาะสม) ไปยังจุด PI. ทุกจุดต่อเนื่องกัน
- การวางแนวจากจุดถึงจุด ให้ใช้วิธีเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของกล้องหน้าซ้ายและหน้าขวา (Double Centering)พร้อมกับทำการวัดมุมทุกครั้ง
- สำรวจรูปตัดขวาง โดยให้ตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางทุกระยะ 25 ม.และต่อปีกออกไปทั้งสองข้างๆละ 25 ม.
- เมื่อแนวศูนย์กลางตัดผ่านลำน้ำ ถนน ทางรถไฟ ให้รังวัดมุมเฉ(Skew)และระยะกม.ของถนน ทางรถไฟ ไว้ด้วย ทั้งนี้มุมเฉต้องไม่เกิน 30 องศา(ในกรณีที่เกิน 30 องศา ให้ปรึกษาผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้าง) และให้สำรวจแผนที่ผังบริเวณ ขนาดประมาณ 100x100 ม. มาตราส่วน 1:500 ไว้ด้วย
- ในกรณีที่แนวศูนย์กลางคันกั้นน้ำผ่านสถานที่สำคัญๆ เช่น วัดหรือที่ธรณีสงฆ์ โบสถ์ ป่าช้า โรงเรียน ฯลฯ ให้รีบรายงานผู้ออกแบบหรือผู้ว่าจ้างโดยด่วน เพื่อออกไปพิจารณาแก้ไขแนวตามความเหมาะสม
- การวางโค้ง การกำหนดระยะเส้นสัมผัส ให้ปฏิบัติตามหลักวิชาการและกฎเกณฑ์ที่กรมทรัพยากรน้ำได้วางไว้

(3) การสร้างหมุดหลักฐานและหมายพยาน

- ตอกหมุดไม้ทุกระยะ 25 ม. ตามศูนย์กลางแนวคันกั้นน้ำ เพื่อการสำรวจรูปตัดขวาง
- ฝังหมุดหลักฐานถาวรแบบ ข. ณ จุดต้นแนวคันกั้นน้ำ จุดเริ่มต้น จุด PI. จุดสิ้นสุด และในแนวตรงให้ฝังหมุดทรงสี่เหลี่ยมทุกระยะประมาณ 500 ม. โดยให้อยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย
- ฝังหมุดหลักฐานถาวร แบบ ก. เป็นคู่ ตามแนว PC.–PI. หรือ PI. – PT. หรือทุกระยะไม่เกิน 5,000 ม. ให้อยู่นอกเขตแนวคันกั้นน้ำแนวใดแนวหนึ่งที่เห็นว่าเหมาะสมและปลอดภัย เพื่อใช้สำหรับอ้างอิง
- ให้ทำหมายพยานหมุดหลักฐาน พร้อมคำอธิบายที่ตั้งไว้โดยละเอียด

(4) การรังวัดระดับ

- รังวัดระดับตามแนวศูนย์กลางทุกระยะ 25 ม. จุดเริ่มต้น จุด PI. จุดสิ้นสุดและหมุดหลักฐานทุกหมุด
- รังวัดระดับตามแนวรูปตัดขวางทุก 5–10 ม. และทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก
- ณ ตำแหน่งที่ศูนย์กลางคันกั้นน้ำผ่านถนน ทางรถไฟ ให้ทำระดับหลังถนน เชิงลาดถนนหรือสันรางรถไฟ
- บันทึกสถิติระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุด ตลอดจนระดับน้ำและวัน เวลาขณะที่ทำการสำรวจ และให้ระบุด้วยว่าระดับน้ำ และคราบน้ำสูงสุดที่หาได้นั้นเป็นสถิติใน พ.ศ. ใด

(5) การเก็บรายละเอียด

- การเก็บรายละเอียดภูมิประเทศทั้ง 2 ข้างแนวศูนย์กลางคันกั้นน้ำและแนวรูปตัดทุกเส้นอย่างละเอียด

(6) การเขียนแผนที่

- เขียนแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศของแนวคันกั้นน้ำ มาตราส่วน 1:4,000 หรือตามความเหมาะสม เส้นชั้นความสูงชั้นละ 1 ม. โดยแสดงค่าระดับของรูปตัดขวางไว้ด้วย
- เขียนแผนที่แสดงรูปตัดตามยาว มาตราส่วนทางตั้ง 1:100 และทางราบ 1:4,000 หรือตามความเหมาะสม ให้อยู่ส่วนล่างของกระดาษในแผ่นเดียวกับแผนที่แสดงรายละเอียดภูมิประเทศ
- ในกรณีที่ใช้แนวคันกั้นน้ำเดิม ให้เขียนแผนที่แสดงรูปตัดขวาง มาตราส่วนทั้งทางตั้งและทางราบ 1:100
- เขียนรายละเอียดขอบระวางแผนที่ เช่น สารบัญ แผ่นต่อ รายละเอียดการสำรวจ เป็นต้น ตามแบบที่กรมทรัพยากรน้ำกำหนด

2.9) การจัดทำแผนที่ระวางที่ดินในแนวการก่อสร้าง

การจัดทำแผนที่ระวางที่ดินตามแนวการก่อสร้าง โดยการประสานกับสำนักงานที่ดินอำเภอหรือที่ดินจังหวัดผ่านทางองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ทำการคัดลอกแผนที่ระวางและรายชื่อเจ้าของที่ดิน เพื่อให้การก่อสร้างอยู่ในที่สาธารณะหรือหากจำเป็นต้องเข้าไปในที่เอกชน จะได้เป็นข้อมูลให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นประสานกับเจ้าของที่ดินและจัดทำหนังสือยินยอมให้ใช้ที่ดินก่อนการก่อสร้าง

3) การสำรวจโยงค่าพิกัดและค่าระดับด้วย GPS เครื่องรับ GPS จะรับสัญญาณคลื่นวิทยุจากดาวเทียมและสร้างรหัส C/A ขึ้นมา เปรียบเทียบกับรหัสที่ถอดได้จากสัญญาณ เมื่อเปรียบเทียบได้รหัสที่ตรงกันจะทำให้รู้เวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ เมื่อนำความเร็วของคลื่นวิทยุคูณด้วยเวลาจะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียม ซึ่งในเครื่องรับแบบนำหน เรียกว่า ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) เครื่องรับแบบรังวัดรับข้อมูลแบบ Carrier Phase

3.1) วิธีการหาพิกัดตำแหน่งโดยใช้ระบบ GPS

(1) เครื่องรับแบบนำหน (Navigation Receiver) รับสัญญาณที่เป็นคลื่นวิทยุจากดาวเทียมเพื่อหาตำแหน่งแบบสามมิตินั้น จะต้องวัดระยะทางไปยังดาวเทียมพร้อมกัน 4 ดวง ในกรณีที่มีดาวเทียมอยู่ใน

ท้องฟ้ามากกว่า 4 ดวง เครื่องรับจะเลือกดาวเทียม 4 ดวงที่มีรูปลักษณ์เชิงเรขาคณิตที่ดีที่สุดหรือมีค่า PDOP ต่ำที่สุดมาใช้ในการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ

◊ การหาตำแหน่งแบบสมบูรณ์ (Absolute Positioning Method) การหาตำแหน่งของจุดเดี่ยวเป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดที่นำเครื่องไปวาง วิธีนี้ต้องการเครื่องรับแบบนำหนเพียงเครื่องเดียว นำเครื่องรับไปวางที่จุดต้องการหาตำแหน่ง เมื่อเครื่องรับสามารถรับสัญญาณได้ครบ 4 ดวง ก็แสดงค่าพิกัดตำแหน่งได้ในทันที ความถูกต้องของการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยใช้รหัส C/A อยู่ในเกณฑ์ประมาณ +10 ถึง 25 เมตร ซึ่งมักคลาดเคลื่อนของตำแหน่งค่อนข้างมาก

◊ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)หรือ Differential Positioning เป็นวิธีการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกันระหว่างจุดสองจุด วัตถุประสงค์ของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ คือ ต้องการให้ความถูกต้องของตำแหน่งเครื่องรับดีขึ้นกว่าการหาตำแหน่งของจุดเดียว ในการทำงานโดยใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ ถ้าเริ่มต้นจากหมุดหลักฐานที่มีค่าพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์อยู่จุดอื่นๆ ที่สร้างขึ้นมาใหม่โดยวิธีทำงานแบบสัมพัทธ์จะมีค่าพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์ได้เช่นกัน

การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้ต้องใช้เครื่องรับแบบนำหนตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป เครื่องรับอันหนึ่งจะวางรับสัญญาณที่หมุดหลักฐานซึ่งรู้หรือถือว่ารู้ตำแหน่งแล้ว หมุดหลักฐานนี้เรียกว่าสถานีฐาน (Base station) เครื่องรับอื่นที่เหลือนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกับสถานีฐานจุดเหล่านี้เรียกว่า จุดรีโมท หลักการทำงานของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ คือ เครื่องรับที่สถานีฐานและที่จุดรีโมทจะต้องรังวัดไปยังดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและที่ขณะเวลาเดียวกัน ที่สถานีฐาน เครื่อง GPS จะทำหน้าที่เหมือนจุดอ้างอิง สามารถใช้ค่าปรับแก้ของเครื่องนี้กับเครื่องอื่นที่อยู่ในบริเวณเดียวกัน และสามารถนำไปใช้เป็นค่าแก้สำหรับคำนวณตำแหน่งอื่นได้เช่นเดียวกัน

การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยใช้เครื่องรับแบบนำหนสามารถจะรู้ตำแหน่งที่ถูกต้องของจุดรีโมทได้ในทันที ถ้าหากคลื่นวิทยุสื่อสารกันได้ระหว่างสถานีฐานกับจุดรีโมท โดยที่สถานีฐานจะส่งค่าตรวจแก้ทางตำแหน่ง หรือค่าตรวจแก้ของซูโดเรนจ์ ที่คำนวณได้ไปให้จุดรีโมท เพื่อใช้ปรับแก้ค่าที่วัดได้ให้ถูกต้อง โดยเหตุที่ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic Error) เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจร ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกา เครื่องรับ เป็นต้น มีผลต่อซูโดเรนจ์ และการคำนวณตำแหน่ง ในลักษณะที่คล้ายกันและมีขนาดเท่าๆ กัน เมื่อคำนวณค่าต่างของตำแหน่งทั้งสอง ความคลาดเคลื่อนมีระบบเหล่านี้จึงหักล้างกันไปจนเกือบหมด ความถูกต้องของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์นี้อยู่ในเกณฑ์ 2 ถึง 5 เมตร

(2) เครื่องรับแบบรังวัด การทำงานของเครื่องรับแบบรังวัดมีหลักการสำคัญ 3 ประการ คือ ประการแรก การใช้คลื่นส่งวัดระยะแทนการใช้รหัส C/A วัดระยะ ทำให้การวัดระยะมีความถูกต้องมากขึ้นเป็นพันเท่า ประการที่สอง คือ การใช้วิธีการวัดแบบสัมพัทธ์เป็นวิธีการขจัดความคลาดเคลื่อนแบบมีระบบ (Systematic Errors) ที่อยู่ในข้อมูลหรือที่เกิดขึ้นในการวัดระยะทางให้หมดไปหรือลดน้อยลงได้ ด้วยเหตุนี้ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งจึงลดลง ประการที่สาม การวัดระยะด้วยคลื่นส่ง เครื่องรับสัญญาณวัดระยะระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียมได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จำเป็นต้องอาศัยการประมวลผลช่วยหาระยะที่ขาดหายไป ข้อเท็จจริงคือเมื่อแรกรับสัญญาณดาวเทียมได้ การวัดระยะด้วยคลื่นส่ง เป็นการสร้างคลื่นที่มีความถี่ใกล้เคียงกับของคลื่นส่งดาวเทียมมาเปรียบเทียบ ดังนั้น สิ่งที่ได้จากการวัด คือ ค่าต่างเฟสของคลื่นทั้งสอง

หรืออีกนัยหนึ่งจะรู้เพียงส่วนย่อยของคลื่นส่งเท่านั้น จำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่อยู่ระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียมไม่สามารถวัดได้ ดังนั้นหลักการที่สำคัญของการหาตำแหน่งด้วยเครื่องรับแบบรังวัดคือ ต้องมีข้อมูลเพียงพอที่จะประมวลผลหาว่าจำนวนคลื่นเต็มรอบนี้เป็นเท่าไร จึงจะได้ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียมที่ถูกต้อง และเมื่อนำไปคำนวณตำแหน่งเครื่องรับจึงจะได้ตำแหน่งที่มีความถูกต้อง วิธีการทำงานคือ นำเครื่องรับแบบรังวัดไปวางที่หมุดที่ต้องการหาตำแหน่งเปรียบเทียบกันเป็นเวลาตั้งแต่ 30 นาทีขึ้นไป จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการรับสัญญาณมาประมวลผลได้เป็นเส้นฐาน และนำข้อมูลดังกล่าว มาประมวลผลร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการรังวัดตำแหน่งอื่นๆ ที่ต้องการทราบค่าเพื่อหาค่าพิกัดที่ถูกต้องของตำแหน่งนั้น การทำงานรังวัด แบ่งออกเป็น 5 วิธี คือ

- การรังวัดแบบสถิต (Static Survey) เป็นวิธีพื้นฐานของการวัดระยะโดยใช้คลื่นส่ง เป็นการทำงานโดยใช้เครื่องรับตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยที่มีเครื่องรับหนึ่งเครื่องไปวางอยู่ที่จุดที่รู้ตำแหน่งแล้ว ส่วนเครื่อง ที่เหลือวางไว้ที่จุดที่ต้องการหาตำแหน่งเพิ่มเติม โดยปกติเครื่องรับจะถูกวางไว้ไม่น้อยกว่าหนึ่งชั่วโมง ทั้งนี้ เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะที่เพียงพอจะประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ โดยหลักการแล้ววิธีการนี้ใช้หาตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ห่างกันเป็นระยะพันๆ กิโลเมตรได้ แต่การใช้ซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์หรือ ซอฟต์แวร์ของโรงงานผลิตเครื่องรับนั้น ระยะห่างสูงสุดที่ให้ความถูกต้องได้ตามข้อกำหนดของเครื่องรับจะอยู่ประมาณ 20-30 กิโลเมตร เท่านั้น
- การรังวัดแบบจลน์ (Kinematic Survey) การรังวัดแบบจลน์ พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สามารถหาตำแหน่งของจุดที่ต้องการได้เร็วขึ้น คือจะใช้เวลาในการรับข้อมูล ณ จุดที่ต้องการในเวลาไม่ถึงหนึ่งนาที แต่วิธีการนี้ก็มีจุดด้อยคือ มีวิธีการเริ่มงาน (Initialization) ซึ่งเป็นวิธีการทำงานเพื่อให้สามารถประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบได้ หลังจากนี้ เครื่องรับจะต้องรับสัญญาณต่อเนื่องจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงตลอดเวลา แม้กระทั่ง ในขณะที่กำลังเคลื่อนย้ายจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ถ้าหากรับสัญญาณดาวเทียมได้น้อยกว่า 4 ดวงเมื่อไร จะต้องทำขั้นตอนของวิธีการเริ่มงานใหม่อีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงไปรังวัดที่จุดอื่นๆ ต่อไปได้อีก ในการรังวัดแบบจลน์นี้เครื่องรับเครื่องหนึ่งจะถูกวางไว้ที่จุดอ้างอิงที่รู้ตำแหน่งแล้วตลอดเวลา เครื่องอื่นๆ เมื่อทำขั้นตอนวิธีการเริ่มงานแล้ว จึงนำไปวางตามจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง
- การรังวัดแบบกึ่งสถิต (Pseudostatic Survey) การรังวัดแบบกึ่งสถิตเป็นทางเลือกที่อยู่ระหว่างการรังวัดแบบสถิตและการรังวัดแบบจลน์ การรังวัดแบบสถิตต้องใช้เวลาในการรังวัดแต่ละจุดนานเป็นชั่วโมง ส่วนการรังวัดจลน์มีข้อจำกัดที่ต้องล็อกสัญญาณดาวเทียมให้ได้อย่างน้อย 4 ดวง ตลอดเวลารวมทั้งในขณะที่กำลังเคลื่อนย้ายระหว่างจุดด้วย รวมทั้งมีวิธีการเริ่มงานที่ต้องกระทำเมื่อเริ่มต้นทำการรังวัดในแต่ละคาบทำงาน
- การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว (Rapid Static Survey) การรังวัดแบบสถิตอย่างเร็ว มีวิธีการทำงานเหมือนกับการรังวัดแบบสถิตธรรมดา แต่ต้องการข้อมูลน้อยกว่า เพื่อนำมาประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบ ในการหาตำแหน่งของจุดที่อยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไม่เกิน 5 กิโลเมตร จะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลราว 10 นาที อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมวลผลวิธีรังวัดสถิตอย่างเร็วจะแตกต่างจากวิธีรังวัดแบบสถิตธรรมดาตามปกติจะใช้ได้สำหรับจุดที่อยู่ห่างจากจุดอ้างอิงไม่เกิน 15 กิโลเมตร
- การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic Survey) การรังวัดแบบจลน์ในทันที รู้จักกันในชื่อย่อว่า RTK เป็นวิธีการทำงานรังวัดแบบจลน์นั่นเอง แต่แสดงผลลัพธ์คือ ค่าพิกัดตำแหน่งได้ทันที

ในสนาม โดยเหตุที่การทำงานยังเป็นการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ หมายความว่าข้อมูลจากทั้งสองจุดต้องนำมาประมวลผลร่วมกัน ดังนั้น จึงต้องใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน เนื่องจากจุดอ้างอิงเป็นจุดรู้ตำแหน่งอยู่แล้ว ในการทำงานแบบ RTK นี้ จึงเป็นการส่งข้อมูลที่รับสัญญาณดาวเทียมได้ไปยังจุดที่ต้องการหาตำแหน่งเครื่องรับ ที่จุดต้องการหาตำแหน่งจะรับข้อมูลแล้วนำไปประมวลผล แล้วแสดงค่าพิกัดได้อย่างรวดเร็วในทันที ระยะห่างระหว่างจุดที่ใช้ทำงานได้ไม่เกิน 15 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับกำลังของคลื่นวิทยุที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน

3.2) การสำรวจค่าระดับโดยใช้ระบบ GPS ซึ่งดาวเทียมระบบ GPS ได้พัฒนาขึ้นให้มีบทบาทสำคัญในด้านการสำรวจที่มีความถูกต้องสูง ด้วยผลทางตำแหน่งจะอยู่ในระบบสามมิติ โดยค่าความสูงที่ได้รับจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS เป็นความสูงเหนือรูปทรงรี WGS84 ซึ่งแตกต่างจากค่าความสูงออร์โทเมตริกที่อ้างอิงกับพื้นผิวยีออย ในการประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมนั้น ความสูงออร์โทเมตริกจะมีความสำคัญมากกว่าความสูงเหนือรูปทรงรี ในการแปลงความสูงเหนือรูปทรงรีไปเป็นความสูงออร์โทเมตริก จึงจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างยีออยกับรูปทรงรี ซึ่งก็คือความสูงยีออย(Geoidal Height; N) วิธีการหนึ่งเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริกคือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงยีออยที่มีความถูกต้องร่วมกับความสูงจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ด้วยประเทศไทยยังไม่มีแบบจำลองความสูงยีออยท้องถิ่น (Local Geoid Model) ดังนั้นวิธีการเดียวที่จะให้ได้ค่าความสูงออร์โทเมตริกก็คือ การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงยีออยของพิภพ(Global Geoid Model) ซึ่งแบบจำลองความสูงยีออยของพิภพมีอยู่หลายแบบจำลอง เช่น OSU91A และ EGM96 เป็นต้น ธนัช สุขวิมลเสรี(2547)ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างแบบจำลองความสูงยีออยของพิภพทั้งสอง พบว่าแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดคือ EGM96(แบบจำลองนี้ให้ค่าความถูกต้องแบบสัมบูรณ์ (Absolute accuracy) ประมาณ 1 เมตร, NASA, EGM's official web site) ต่อมาธนัช สุขวิมลเสรีและเฉลิมชนม์ สถิระพจน์ ได้ทำการวิจัยเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกที่ได้รับจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS โดยในการศึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

(1) ค่าระดับหรือค่าความสูงออร์โทเมตริก เป็นข้อมูลซึ่งได้จากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ (Differential levelling) ในเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 3 (12 มิลลิเมตร คูณด้วย √K โดย K เป็นระยะทางระหว่างหมุดทั้งสองและมีหน่วยเป็นกิโลเมตร) หรือดีกว่า จำนวน 26 หมุด โดยจะพิจารณาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการวิเคราะห์

(2) เส้นฐานจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS เป็นข้อมูลที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม โดยใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต โดยผลลัพธ์จากการประมวลผลเส้นฐาน (GPS baseline solution) ประกอบด้วยเส้นฐานจำนวน 22 เส้น ซึ่งมีจุดปลายเส้นฐานเป็นหมุดระดับที่ทราบค่าระดับจากการเดินระดับด้วยกล้องระดับดังหัวข้อ(1) โดยเส้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความยาวตั้งแต่ 8.8 กิโลเมตรจนถึง 70.8 กิโลเมตร

(3) แบบจำลองความสูงยีออย แบบจำลองความสูงยีออยที่นำมาใช้ในการศึกษาคือแบบจำลองความสูงยีออยของพิภพ ค.ศ.1996 (Earth Gravitational Model 1996) หรือที่เรียกโดยย่อว่า EGM96

ผลการวิเคราะห์ พบว่า ผลต่างระหว่างค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS กับค่าต่างความสูงออร์โทเมตริกที่ได้จากการเดินระดับ มีค่าผลต่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.037 เมตร(มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.392 เมตร มีค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.208 เมตร) และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.147 เมตร นอกจากนี้หากพิจารณาค่าความถูกต้องของค่าต่างที่คำนวณได้กับเกณฑ์ของงานระดับชั้นที่ 4 (25 มิลลิเมตร คูณด้วย √K) จะพบว่า มีจำนวนเส้นฐานที่ผ่านเกณฑ์งานระดับชั้นที่ 4 จำนวน 17 เส้น และไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 5 เส้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลองความสูงยีออย EGM96 และเพื่อทำระดับด้วย GPS นั้น จะให้ความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกในระดับเดซิเมตร

งานรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ได้ถูกนำมาแทนที่การทำระดับด้วยกล้องระดับเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าความสูงออร์โทเมตริกของหมุดที่ต้องการในหลายๆ งาน เช่น งานสำรวจเพื่องานทาง งานสำรวจเพื่องานก่อสร้าง หรืองานสำรวจเพื่อสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายทางอากาศ เป็นต้น จากผลการศึกษาเพื่อประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัด GPS แสดงให้เห็นถึงค่าความถูกต้องที่ได้รับอยู่ในระดับเซนติเมตรถึงเดซิเมตร วิธีการดังกล่าวจึงเหมาะสำหรับการหาค่าระดับของตำแหน่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้หรือไม่สามารถหาค่าระดับได้ ทั้งยังช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานสนามอีกด้วย

สำนักพัฒนาแหล่งน้ำได้จัดทำคู่มือเกณฑ์การสำรวจเพื่อออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ ของกรมทรัพยากรน้ำ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับการสำรวจดังนี้

1) บทนำ
2) รายละเอียดลักษณะของงานสำรวจ
3) การสำรวจเพื่อการออกแบบ
4) การสำรวจเพื่อการก่อสร้างโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ

รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาได้จากคู่มือเกณฑ์การสำรวจเพื่อการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ เอกสารหมายเลข สพน.021 พฤษภาคม 2546

2.3 การสำรวจทางด้านธรณีเทคนิค

จากผลการคัดเลือกโครงการ ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ ที่ใช้ข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่โครงการภาคสนามเบื้องต้น ก็ต้องทำการสำรวจด้านธรณีเทคนิคในขั้นออกแบบรายละเอียด ชั้นดินมีความหมายทางวิศวกรรมศาสตร์ได้ 2 ลักษณะ คือ

◊ ดินรากฐาน เพื่อรองรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ เช่น อาคาร ถนน ประตูระบายน้ำ ฝายน้ำล้นหรือเขื่อน เป็นต้น ซึ่งดินฐานรากดังกล่าวต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของสิ่งปลูกสร้าง เช่น มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักอาคารได้ หรือมีความทึบน้ำพอที่จะไม่ให้น้ำลอดผ่าน เช่น ในกรณีของประตูระบายน้ำ ฝายน้ำล้นหรือเขื่อนที่สร้างขึ้นเหนือชั้นดิน เป็นต้น ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงจำเป็นต้องมีการเจาะสำรวจชั้นดินเพื่อดูคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเพื่อใช้ในการประกอบการออกแบบองค์ประกอบของสิ่งก่อสร้างต่อไป

◊ ดินเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่นการนำดินมาก่อสร้าง ถนน เขื่อนหรือถมที่ เป็นต้น โดยดินดังกล่าวต้องผ่านการบดอัดในมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดี เช่น การนำดินมาบดอัดเพื่อทำถนน เพื่อให้ดินรับน้ำหนัก

การจราจรได้ หรือการบดอัดคันดินเพื่อป้องกันน้ำท่วม เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบโครงการผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องทราบ ประเภทและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

มาตรฐานอ้างอิง :

ASTM D 420-69
ASTM D 1452-65
ASTM D 1586-67
ASTM D 1587-67
ASTM D 2488-69
ASTM D 2573-67 T
AASHO M 145

1) การเจาะสำรวจดินรากฐาน การสำรวจชั้นดิน คือกรรมวิธีการเจาะลงไปในชั้นดิน เก็บตัวอย่างดินทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม หยั่งชั้นดินจากผิวดิน หรือใช้เทคนิคอื่น ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งลักษณะชั้นดินทั้งทางแนวดิ่ง และการเปลี่ยนแปลงทางแนวราบ เพียงพอในการที่จะใช้ออกแบบ หรือศึกษาวิเคราะห์ทางด้านปฐพีกลศาสตร์ ลักษณะการสำรวจชั้นดินจะต้องคำนึงถึงประโยชน์การใช้งานด้วย เช่น งานถนนหรือสนามบิน การสำรวจจะกระทำเพียงตื้นๆ แต่งานฐานรากเสาเข็มต้องสำรวจลงไปลึกกว่าปลายเข็มที่คาดว่าจะใช้งาน

(1) วิธีเจาะสำรวจชั้นดิน (Soil Boring) การเจาะสำรวจชั้นดินคือ การเจาะหลุมลงไปในดินเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของชั้นดินและเก็บตัวอย่างดินมาทำการทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ โดยทั่วไปการสำรวจชั้นดินที่ใช้มาก ได้แก่

◊ การเจาะโดยใช้สว่านมือ (Hand Auger) เป็นการเจาะด้วยแรงคน โดยใช้สว่านมือ และก้านเจาะ โดยที่ก้านเจาะซึ่งยาวประมาณ 1 เมตร สามารถต่อให้ยาวหลาย ๆ ท่อนได้ เมื่อกดพร้อมๆกับหมุนก้านจนดินเข้ามาเต็มสว่านแล้วจึงดึงขึ้นเพื่อนำดินออก ดินส่วนนี้สามารถนำไปทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางประเภทได้ การเจาะด้วยสว่านมืออาจทำได้ลึกถึง 6–10 เมตร ในดินเหนียวแข็งปานกลาง ข้อเสียของการเจาะประเภทนี้คือไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาหาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงหรือการทรุดตัวของดินได้ เนื่องจากโครงสร้างดินถูกทำลายโดยสว่าน

◊ การเจาะโดยใช้การฉีดล้าง (Wash Boring) คือ การใช้แรงดันน้ำฉีดเจาะทำลายโครงสร้างดินเพื่อให้เกิดหลุม และเกิดการรบกวนดินด้านล่างน้อยที่สุด วิธีการเจาะเริ่มโดยการเจาะชั้นดินโดยการสูบน้ำผ่านก้านเจาะลงไปที่หัวฉีดที่ก้นหลุมพร้อมๆ กับกระแทกหรือหมุนของหัวเจาะ ทำให้ดินก้นหลุมหลุดไหลตามน้ำขึ้นมาบนผิวดินลงในอ่างตกตะกอนแล้วสูบน้ำที่ใสนำไปใช้ได้อีก วิธีนี้ต้องอาศัยสามขา(Tripod) เครื่องกว้าน (Motor และCatch head) และปั๊มน้ำ ในกรณีที่เจาะในชั้นของดินอ่อน จะต้องใช้ปลอกกันดินพัง (Casing) ด้วย โดยต่อเป็นท่อน ๆ และเมื่อเจาะถึงชั้นทรายจะไหลเข้ามาในหลุม จึงจำเป็นต้องผสมสารเบนโทไนต์ (Bentonite) ลงไปกับน้ำ เนื่องจากเบนโทไนต์คือ แร่ชนิด Montmollionite มีความสามารถในการดูดน้ำดีและพองตัวได้มาก ทำให้ความหนาแน่นของน้ำภายในหลุมมากกว่าน้ำในชั้นทราย น้ำจึงไม่ไหลเข้าในหลุม การเจาะประเภทนี้สามารถหยุดเพื่อเก็บตัวอย่างดินได้เป็นระยะ ๆ ตามกำหนด

(2) วิธีเก็บตัวอย่างดิน (Soil Sampling) การเก็บตัวอย่างดินมักเป็นเรื่องละเอียดอ่อน และต้องการความระมัดระวังและความชำนาญที่จะให้ได้ตัวอย่างดินที่มีคุณภาพ ตัวอย่างดินแยกออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

◊ ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) คือตัวอย่างดินที่ถูกเก็บขึ้นมาโดยมีสภาพใกล้เคียงสภาพธรรมชาติ เช่น ตัวอย่างดินที่เก็บได้จากกระบอกเปลือกบางที่มีขนาดตั้งแต่ 3 นิ้วขึ้นไป กระบอกแบบลูกสูบ (Piston Sampler) หรือกระบอกเก็บตัวอย่างแบบ 2 ชั้น เป็นต้น ซึ่งมีการกระทบกระเทือนชั้นดินน้อยที่สุด คือ มีความชื้น ความหนาแน่น ลักษณะโครงสร้างไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในชั้นดินเดิม ถือว่าเป็นตัวอย่างดินที่มีคุณภาพดีที่สุด และสามารถใช้ทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการได้เกือบทุกอย่าง

◊ ตัวอย่างเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) ได้แก่ ตัวอย่างดินที่เก็บได้จากกระบอกผ่า (Split Spoon) ในการตอกทดลอง หรือกระบอกเปลือกบาง (Thin Wall หรือ Shelby Tube)ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก จะได้ตัวอย่างดินที่มีการเปลี่ยนสภาพไปบ้าง เช่นมีการอัดแน่น หรือ การจับตัวตามธรรมชาติถูกทำลายเพราะแรงกระแทก แต่อาจใช้ในการทดลองได้บางอย่าง เช่น Atterberg's limit การหาขนาดเม็ดดิน เป็นต้น

(3) วิธีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนาม (Field test) ในระหว่างการเจาะสำรวจชั้นดินมักมีการทดสอบคุณสมบัติดินในสนามไปพร้อมๆ กัน เช่น การหากำลังความต้านทานของชั้นดิน การหาค่าความซึมน้ำ เป็นต้น ข้อดีของการทดสอบในสนาม คือ ชั้นดินจะถูกรบกวนน้อยที่สุดเพราะยังคงอยู่ในที่ และยังมีสภาพแวดล้อมต่างๆตามจริง แต่ทดสอบโดยใช้เครื่องมืออย่างละเอียดเหมือนในห้องทดลองทำได้ยาก ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จึงเป็นค่าที่ถูกต้องในระดับหนึ่ง ผู้นำผลไปใช้จะต้องพิจารณาใช้ให้เหมาะสม การทดสอบในหลุมเจาะที่ทำกันเป็นส่วนมากได้แก่

◊ Standard Penetration test (SPT) หรือการตอกทดลองมาตรฐาน เป็นการตรวจสอบความแข็งแรงของชั้นดิน การทดสอบดำเนินการร่วมไปกับการเก็บตัวอย่างโดยกระบอกผ่า หลักการทดสอบคือ เมื่อเจาะดินถึงระดับที่ต้องการทราบความแข็งแรง กระบอกผ่าจะถูกตอกลงไปในดินเป็นความลึก 18 นิ้ว โดยใช้ลูกตุ้มขนาดมาตรฐานหนัก 140 ปอนด์ ยกสูง 30 นิ้ว ระยะจม 18 นิ้ว ถูกแบ่งเป็น 3 ช่วง ช่วงละ 6 นิ้ว แต่ละช่วงจะทำการบันทึกจำนวนครั้งที่ใช้ในการตอกเพื่อให้กระบอกผ่าจมลงไป 6 นิ้ว ดังนั้นถ้าชั้นดินเป็นดินแข็งจะต้องให้พลังงานในการตอกมากหรือใช้จำนวนครั้งในการตอกมากนั่นเอง จำนวนการตอกใน 6 นิ้วแรกจะไม่นำมาใช้เนื่องจากสภาพดินก้นหลุมอาจถูกรบกวนจากการเจาะสำรวจมากทำให้ความแข็งแรงของดินเปลี่ยนไป จำนวนการตอกในช่วงที่เหลือจะนำมารวมกันให้ได้ค่าจำนวนครั้งการตอกมาตรฐานหรือค่า N ดังกล่าวไปใช้ในการออกแบบต่อไป การทดสอบ SPT เหมาะสำหรับการทดสอบดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากและทรายแน่น (Stiff Clay, Hard Clay and Dense Sand) แต่ไม่เหมาะสำหรับดินเหนียวอ่อน ถึงแข็งปานกลางและทรายหลวม (Soft Clay, Medium Clay and Loose Sand) ทั้งนี้เพราะดินอ่อนไม่สามารถต้านพลังงานจากการตอกได้บางครั้งการตอกครั้งเดียว การบอกผ่าอาจจมลงไปมากกว่า 18 นิ้ว

◊ Vane Shear Test โดยใช้ใบมีด 4 แฉกเสียบลงในชั้นดิน แล้วบิดด้วยโมเมนต์บิด (Torque) จากผิวดินผ่านก้านต่อลงไปเฉือนชั้นดิน เป็นรูปทรงกระบอกแล้วสามารถวัดแรงต้านทานของชั้นดินได้

◊ วัดการซึมน้ำ (Permeability Test) หรือความดันของน้ำใต้ดิน (Pore Water Pressure) โดยอาศัยการสูบน้ำออกแล้วดูอัตราการไหลของน้ำเข้ามาแทนที่ในหลุมเจาะ หรือฝังเครื่องวัดที่เรียกว่า "Piezometer" เพื่อวัดแรงดันน้ำที่ระดับที่ต้องการ

◊ การหาแรงต้านทานของผิวดิน/หินต่อน้ำหนักบรรทุก (Plate Bearing Test) เป็นการทดสอบ

และประเมินคุณสมบัติของฐานรากเขื่อน/ประตูระบายน้ำ/ฝายน้ำล้นในสนาม ซึ่งผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือกว่าการทดสอบในห้องทดลอง และนอกจากดินหรือหินฐานรากไม่ได้รับการกระทบกระเทือนแล้ว ยังเป็นการทดสอบคุณสมบัติรวมของชั้นดินหรือหินที่มีรอยแตก หรือตามสภาพธรรมชาติไว้ด้วย

(4) วิธีหยั่งชั้นดิน (Sounding Method) มักเป็นการตอกหรือกดหัวโลหะผ่านก้านต่อ แล้ววัดแรงต้านทานของชั้นดิน เช่น การตอกทดลองมาตรฐาน (Standard Penetration Test) Dutch Cone Penetration และ Swedish Sounding เป็นต้น

(5) วิธีทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysical Method) อาศัยหลักทางฟิสิกส์ เช่น การวัดความต้านทานของชั้นดิน (Resistivity Survey) และวัดความเร็วของคลื่นผ่านชั้นดิน (Seismic Survey) ทั้งสองวิธี มักใช้ควบคู่กับการเจาะสำรวจ เพื่อเพิ่มข้อมูลเพิ่มเติมในระหว่างหลุมเจาะ

(6) การบันทึกข้อมูล (Soil Boring Log) ในระหว่างการเจาะสำรวจดินจะต้องมีรายละเอียดดังนี้

◊ ตำแหน่งหลุมเจาะ ระดับผิวดิน หมายเลขหลุม

◊ ผู้รับผิดชอบในการเจาะ (หัวหน้าชุดเจาะ) วันที่ทำการเจาะ

◊ วิธีการเจาะ วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

รายละเอียดชั้นดิน ลักษณะดิน โดยอาศัยหลักของ ASTM D 2488-69 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูล สัญลักษณ์ชั้นดิน-ชั้นหิน และแบบตรวจสอบการเจาะสำรวจดินในสนาม แสดงไว้ในรูป

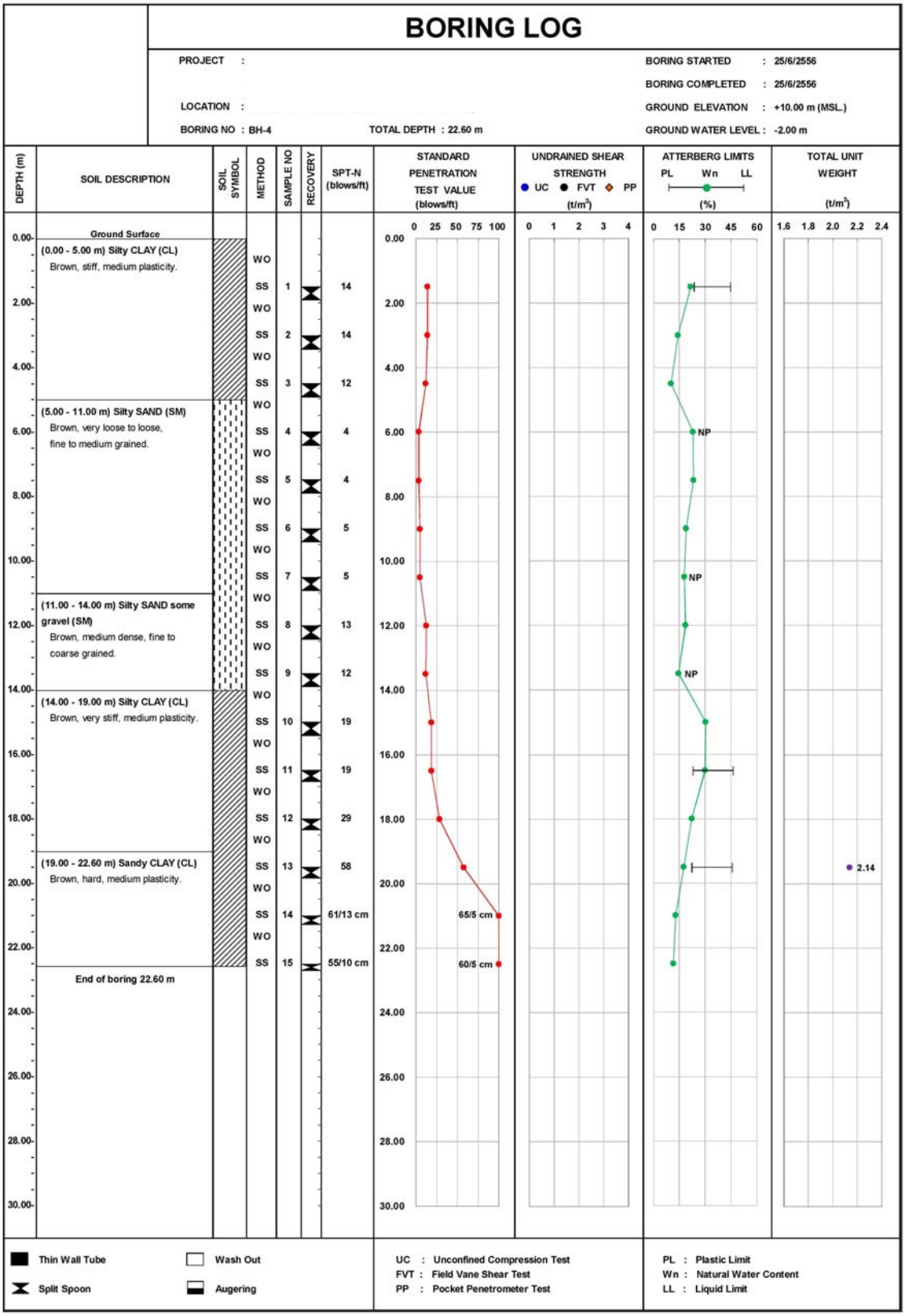
(7) การทดสอบคุณสมบัติของดินฐานรากในห้องปฏิบัติการ

◊ ดินฐานราก

- Gradation หรือ Sieve Analysis
- Water Content
- Atterberg’s limits
- จำแนกชนิดของดินระบบ Unified Soil Classification System
- Specific Gravity
- Proctor Compaction
- Relative Density
- Chemical Properties{Salinity(การขุดลอกหนอง/บึง), Dispersive(บ่อยืมดิน)}

◊ หินฐานราก

- Specific Gravity and Absorption
- Abrasion Test
- Uniaxial Compressive Strength



กราฟแสดงผลการเจาะสำรวจดิน(Boring Log)

2) การเจาะสำรวจดินเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้าง โครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น อ่างเก็บน้ำ เขื่อนทดน้ำ และถนน เป็นต้น มีความต้องการใช้วัสดุก่อสร้างจำพวกดินถม ทราย กรวดและหินจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องทำการเจาะสำรวจปริมาณ คุณภาพของแหล่งวัสดุก่อสร้างเพื่อประกอบการวางแผนงานก่อสร้างให้เกิดความประหยัดและมีประสิทธิภาพ เป็นหลักประกันให้เกิดความมั่นใจต่อปริมาณและคุณภาพของวัสดุสำหรับงานก่อสร้าง

(1) เครื่องมือสำรวจ ประกอบด้วย แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา เทปวัดระยะ เข็มทิศ GPS เป็นเครื่องมือสำหรับกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวและสำรวจความหนาของชั้นดิน ชั้นหิน มีรายละเอียดดังนี้

◊ สำหรับแหล่งดิน

- สว่านมือ(Hand Auger) เพื่อสำรวจความหนาของชั้นวัสดุดิน พร้อมเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบในสนามและห้องปฏิบัติการ

- การขุดหลุมทดลอง(Test Pit) โดยใช้จอบหรืออีตเตอร์ สำหรับขุดเพื่อสำรวจความหนาที่ชัดเจนของชั้นวัสดุดิน เนื่องจากการเจาะด้วยสว่านมือบางที่อาจไม่สามารถเจาะผ่านเศษหินได้ ทำให้ไม่สามารถทราบความหนาที่แท้จริงพร้อมเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบในสนามและห้องปฏิบัติการ

◊ สำหรับแหล่งหิน

- การสำรวจใต้พื้นผิวทางธรณีฟิสิกส์โดยวิธีวัดคลื่นไหวสะเทือนแบบหักเห (Seismic Refraction Method) เพื่อใช้ประเมินความหนาของชั้นวัสดุปิดทับชั้นวัสดุหินและระดับความลึกของชั้นวัสดุหิน โดยอาศัยความแตกต่างของคุณสมบัติความหนาแน่นของวัสดุที่ทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นสั่นสะเทือน เมื่อหักเหแตกต่างกัน

- การสำรวจใต้พื้นผิวโดยเครื่องเจาะเก็บแท่งตัวอย่างหิน(Drilling Machine) เป็นการตรวจสอบความหนาของวัสดุปิดทับชั้นวัสดุหินและคุณสมบัติของหินได้โดยตรง

(2) วิธีการสำรวจ โดยทั่วไปแล้วการสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้าง จำเป็นต้องเข้าใจสภาพทั่วไปและสภาพธรณีวิทยา มีหลักการประกอบด้วยการสำรวจ 2 ขั้นตอนคือ

◊ การสำรวจขั้นแรกของแหล่งวัสดุ(Preliminary Study of the Deposits)

- ทำการศึกษาเพื่อหาข้อมูลที่เกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างต่างๆในบริเวณข้างเคียงกับสถานที่ก่อสร้างให้มากที่สุด เช่น แผนที่ธรณีวิทยา รายงานสภาพธรณีวิทยา และผลทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

- สำรวจความหนาของชั้นดิน โดยใช้สว่านมือและสำรวจชั้นหินโผล่ พร้อมกำหนดตำแหน่งและวัดทิศทางการวางตัว เพื่อคำนวณปริมาณสำรอง

- เก็บตัวอย่างวัสดุหิน ดิน ทราย ในพื้นที่โครงการและใกล้เคียง เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมและความเหมาะสมของวัสดุ

- ศึกษาระยะทางระหว่างแหล่งวัสดุและพื้นที่โครงการก่อสร้าง รวมทั้งความสะดวกในการขนส่ง

◊ การสำรวจขั้นรายละเอียดของแหล่งวัสดุ(Detailed Exploration of the Deposits)

- นำข้อมูลที่ได้รวบรวมในขั้นแรกมาเพื่อจัดทำแผนที่รายละเอียด เช่น แผนที่ธรณีวิทยาและแหล่งวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น มาตราส่วน 1: 5,000 ถึง 1:1,000 เพื่อวางแผนการสำรวจ กำหนดขอบเขตที่แน่นอนเพิ่มเติม สำหรับการเจาะสำรวจทั้งแหล่งวัสดุดินและแหล่งวัสดุหิน

- ทำการสำรวจทั้งบนพื้นผิวและการสำรวจใต้ผิวดิน สำหรับแหล่งวัสดุดินใช้สว่านมือ สำหรับแหล่งวัสดุหินใช้การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ร่วมกับการเจาะสำรวจเก็บแท่งหิน(Core Rock)

- เก็บตัวอย่างวัสดุก่อสร้าง พร้อมบรรยายลักษณะดิน หินตามที่ได้พบเห็นในภาคสนาม (Hand Specimens Description) โดยตัวอย่างวัสดุดินและทรายนำไปวิเคราะห์หาขนาดตะกอน(Sieve Analysis) เพื่อจำแนกชนิดตามระบบ USCS และ AASHTO สำหรับตัวอย่างวัสดุหินอาจเก็บทั้งจากหินโผล่ที่พบบนพื้นผิวและแท่งตัวอย่างหินจากการเจาะสำรวจ สำหรับการทดสอบเกี่ยวกับความแข็งแรงและความทนทานในการขัดถูของวัสดุหิน

- ประเมินปริมาณสำรอง สำหรับวัสดุดินและทรายทำการประเมินจากข้อมูลความหนาของชั้นดินที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการในแต่ละพื้นที่ที่กำหนดให้ได้อย่างน้อย 1.5 เท่าของปริมาณที่กำหนด

(3) การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างในห้องปฏิบัติการ

◊ วัสดุดิน

- Gradation หรือ Sieve Analysis
- Water Content
- Atterberg’s limits
- จำแนกชนิดของดินระบบ Unified Soil Classification System
- Specific Gravity
- Proctor Compaction
- Relative Density

◊ วัสดุหิน

- Specific Gravity and Absorption
- Abrasion Test
- Uniaxial Compressive Strength

3) เกณฑ์การเจาะสำรวจดินฐานรากโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำธรรมชาติ

การเจาะสำรวจดินฐานรากมีความจำเป็นสำหรับการรออกแบบรายละเอียดองค์ประกอบของอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งน้ำที่จะฟื้นฟูและพัฒนาดังนี้

(1) ห้วย ที่ต้องทำการขุดลอกหรือก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำ ในกรณีการขุดลอกต้องทำการสำรวจสภาพทางด้านธรณีเทคนิคโดยใช้ Hand Auger เจาะหลุมตื้น(ลึก 4-6 เมตร เก็บตัวอย่างทุก 1.50 เมตร) สำรวจดินตามลำห้วยทุก 500 ม.และบริเวณโค้งน้ำที่เกิดการกัดเซาะ จำนวนหลุมเจาะต้องไม่น้อยกว่า 3 หลุมต่อแนว(ตลิ่งซ้าย ตลิ่งขวาและท้องลำห้วย) ส่วนกรณีที่ต้องก่อสร้างฝายน้ำล้น ประตูระบายน้ำหรืออาคารควบคุมน้ำนั้น ความลึกของหลุมเจาะที่ตำแหน่งของอาคารต้องเท่ากับความสูงของอาคารหรือไม่น้อยกว่า 4 ม. หรือถึงชั้นหิน โดยเจาะสำรวจตามแนวแกนฝายน้ำล้น ประตูระบายน้ำหรืออาคารควบคุมน้ำที่กึ่งกลางลำน้ำและตลิ่งทั้ง 2 ข้าง ที่ด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของฝายน้ำล้น ประตูระบายน้ำหรืออาคารควบคุมน้ำรวมกันอย่างน้อย 5 หลุม

(2) บึง กุดหรือหนองน้ำ ที่ต้องทำการขุดลอกหรือก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำ ในกรณีการขุดลอกต้องทำการสำรวจสภาพทางด้านธรณีเทคนิคโดยใช้ Hand Auger เจาะหลุมตื้น(ลึก 4-6 เมตร เก็บตัวอย่างทุก 1.50 เมตร) สำรวจดินไม่น้อยกว่า 5 หลุมให้ครอบคลุมพื้นที่ของแหล่งน้ำ ส่วนกรณีที่ต้องก่อสร้างอาคารควบคุมน้ำเช่นทางรับน้ำเข้า ทางระบายน้ำออก เป็นต้น ความลึกของหลุมเจาะที่ตำแหน่งของอาคารควบคุมน้ำเหล่านั้นต้องเท่ากับความสูงของอาคารหรือไม่น้อยกว่า 4 ม.หรือถึงชั้นหิน โดยเจาะสำรวจที่กึ่งกลางของแกนอาคารควบคุมน้ำ ที่ด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำ รวมกันอย่างน้อย 3 หลุม

4) การทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำ(Permeability Test)ในฐานรากของอาคารชลศาสตร์

การทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นดินใช้การทดสอบด้วยด้วยวิธีที่เรียกว่า Gravity Test ซึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก นิยมใช้การทดสอบแบบ Open-end Test ทุกระยะ 1 เมตร ตามมาตรฐาน USBR Designation E-18 โดยวัดปริมาณของน้ำที่รั่วซึมในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นดิน ส่วนการทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหิน ใช้การทดสอบค่าอัตราการรั่วซึมของน้ำแบบ Lugeon Test ทุกระยะ 3 เมตร ตามแบบของ A.C. Houlsby โดยอาศัยแรงดันจากเครื่องสูบน้ำอัดน้ำลงไปในหลุมเจาะ อาศัยลูกยางปิดกั้นน้ำไม่ให้รั่วขึ้นมาปากหลุมเจาะได้ น้ำจะถูกบังคับให้ไหลไปตามรอยแตกและความพรุนของหินเท่านั้น วัดปริมาณน้ำที่รั่วหายไปในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ วัดช่วงของความลึกที่ทำการทดสอบและอ่านค่าความดันที่ใช้ แล้วนำค่าที่ได้คำนวณหาค่าอัตราการรั่วรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหินได้

(1) การทดสอบในชั้นดินฐานรากและหินผุ ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Gravity Test ตามมาตรฐาน USBR Designation E-18 (Earth Manual, USBR) 2 วิธีคือ

◊ การทดสอบแบบ Open-end Test:

$$K = Q/(5.5rH)$$

เมื่อ K = Permeability, cm./sec.

Q = Constant Rate of Flow into Hole, cc./sec.

r = Internal Radius of Casing, (cm. ; NWM size 3.81 cm.)

H = Differential Head of Water, cm.

◊ การทดสอบแบบเป็นช่วง Length Test:

$K = Q/(2\P LH)\ln(L/r)$ เมื่อ $L \geq 10r$

และ/หรือ $K = Q/(2\P LH)\sinh^{-1}(L/r)$ เมื่อ $10r > L > r$

เมื่อ K = Permeability Coefficient, cm./sec.

Q = Constant Rate of Flow into Hole, cc./sec.

L = Testing Span, cm.

r = Internal Radius of Casing, (cm. ; NWM size 3.81 cm.)

H = Differential Head of Water, cm.

ln = Natural Logarithm

$\sinh^{-1}$ = Arc Hyperbolic sine

¶ = 22/7

(2) การทดสอบในชั้นหินฐานราก ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Lugeon Test ตามแบบของ A.C. Houlsby ซึ่งใช้ค่าความดัน(พิจารณาจากระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เมตร โดยความดันจะเพิ่มขึ้น 0.23 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ต่างกัน 3 ค่าและทดสอบ 5 ครั้งๆละ 10 นาที ซึ่งความดันครั้งที่ 3 เป็นค่าความดันสูงสุดที่ใช้ในแต่ละช่วง ขึ้นอยู่กับระยะที่จะทดสอบ(a)

ครั้งที่	1	2	3	4	5
ความดันที่ใช้	0.4a	0.7a	1.0a	0.7a	0.4a

ความดันครั้งที่ 3 (kg/sq.cm) = ความลึกก้นหลุม(เมตร)x0.23

ความดันครั้งอื่นๆ ใช้เป็น 40% และ 70% ของความดันสูงสุด แล้วนำค่าการรั่วซึมของน้ำที่ได้มาคำนวณตามสมการดังนี้

$$K = 10Q/(LP)$$

เมื่อ K = Permeability, Lugeon

Q = Total Flow Rate, liter/min.

L = Test Span, meter(Generally, L= 3 meter)

P = Total Pressure{P_1(Gauge)+P_2(Water Column)}, bar(1 kg/sq.cm)

1 bar = 10 meter = 1 kg/sq.cm

ส่วนที่ 3

การออกแบบรายละเอียด

3. การออกแบบรายละเอียด

3.1 การออกแบบทางด้านอุทกวิทยา

1) เกณฑ์การออกแบบทางด้านอุทกวิทยาของโครงสร้างถาวร

(1) ข้อพิจารณาการเลือกค่ารอบปีสำหรับใช้ออกแบบ โครงสร้างที่มีความสำคัญ กล่าวคือ ถ้าเกิดความเสียหายแล้วจะเกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ก็ต้องออกแบบให้ปลอดภัยมากที่สุด โดยออกแบบให้สามารถรับปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบหลายปี ค่ารอบปี(T_r)เพื่อใช้ออกแบบงานต่างๆสรุปได้ดังนี้

ลำดับที่	ประเภทของงาน	รอบปี (ปี)
1	งานระบายน้ำ ท่อลอดที่มีน้ำบ่าน้อย และการขุดระบายลำน้ำเล็กๆ ในชนบท	3 – 5
2	ทางระบายน้ำล้น ฝายน้ำล้นขนาดเล็กในชนบทหากได้รับความเสียหาย เนื่องจากน้ำนองก็ไม่เกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน	10 – 20
3	ท่อลอด และสะพานเล็กๆ บนทางสาธารณะระหว่างหมู่บ้าน	30 – 50
4	งานตามข้อ 1 หากเกิดความเสียหาย เนื่องจากน้ำนองจะเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน	50 – 100
5	งานตามข้อ 2 หากเกิดความเสียหาย เนื่องจากน้ำนองจะเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน	50 – 100
6	ท่อลอดและสะพานเล็ก ๆ บนทางหลวง ถ้ามีน้ำมากอาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สิน	50 – 100

ที่มา : คู่มือการออกแบบแหล่งน้ำสำหรับงานเร่งรัดพัฒนาชนบท กองสำรวจและออกแบบ รพช. 2529

ความเสี่ยงที่จะเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดสูงกว่าค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาของโครงการและค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ ดังสมการ จาก Elementary Engineering Hydrology, M.J. DEODHAR

$$\text{Risk} = 100\text{-}100(1\text{-}1/T_r)^n$$

เมื่อ Risk = ความเสี่ยงที่จะเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดสูงกว่าค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ

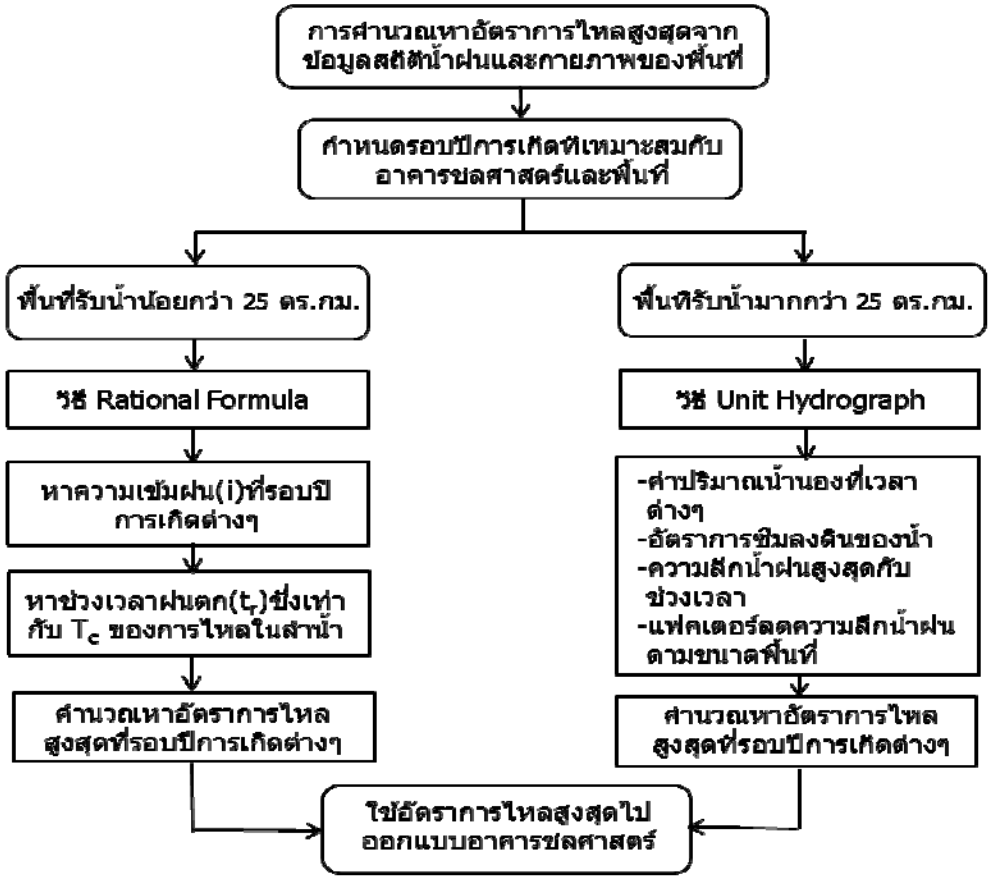
Tr = ค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ

N = ระยะเวลาของโครงการ

ระยะเวลาของโครงการ	30 ปี	50 ปี	50 ปี
ค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ$_r$	100 ปี	500 ปี	1000 ปี
ความเสี่ยงที่จะเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดสูงกว่าค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ	26.03 %	9.53 %	4.88 %

(2) การคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุด วิธีคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดมีหลายวิธี แต่สำหรับงานแหล่งน้ำขนาดเล็กแนะนำให้ใช้วิธีดังต่อไปนี้

- วิธี Rational Formula ใช้สถิติข้อมูลน้ำฝนสำหรับพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 25 ตร.กม.
- วิธี Unit Hydrograph ใช้สถิติข้อมูลน้ำฝนสำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า 25 ตร.กม.
- วิธี Manning ใช้ระดับน้ำท่วมที่เคยเกิดในพื้นที่และข้อมูลกายภาพของลำน้ำ
- วิธี Slope-Area ใช้ระดับน้ำท่วมที่เคยเกิดในพื้นที่และข้อมูลกายภาพของลำน้ำ



(2.1) วิธี Rational Formula เป็นวิธีการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดโดยใช้ข้อมูลสถิติน้ำฝนและข้อมูลลักษณะของลำน้ำวิธีนี้เหมาะกับพื้นที่รับน้ำฝนขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 25 ตร.กม.และไม่มีข้อมูลปริมาณน้ำท่วมที่วัดในสนาม ค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดที่คำนวณได้โดยวิธีนี้จะมีค่ามากเกินความเป็นจริงสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่ โดยมีสูตรดังนี้

$$Q_{peak} = 0.278\ CIA \qquad (\text{สำหรับกรณีที่ช่วงเวลาน้ำฝน, } T \geq T_c)$$

$$T_c = 0.0663(L/S^{0.5})^{0.77} \quad \text{(Kirpich, 1940)}$$

$$S = H/L$$

เมื่อ Q_{peak} = ปริมาณน้ำนองสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า

I = ความเข้มน้ำฝน(Rainfall Intensity) ที่ช่วงเวลา Tc (มม./ชม.)

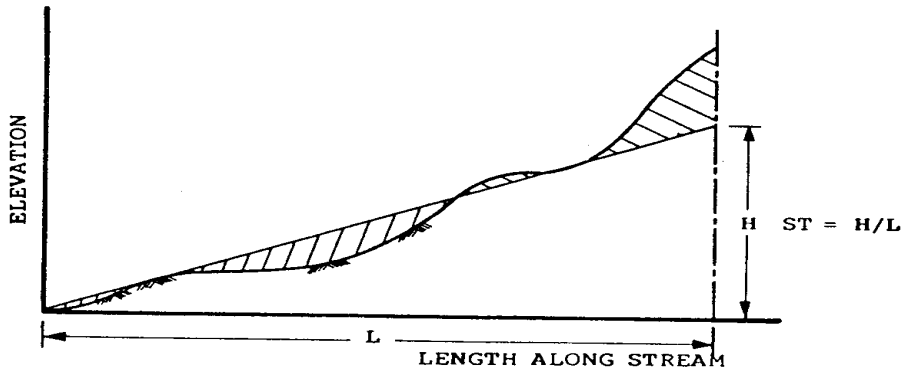
Tc = ช่วงเวลาการตกของฝน (Time of concentration) เท่ากับเวลาที่น้ำใช้ในการไหลจากจุดไกลที่สุดของพื้นที่รับน้ำฝนมาถึงโครงการ (ชม.)

A = พื้นที่รับน้ำฝนของโครงการ (ตร.กม.)

L = ความยาวของลำน้ำสายหลักถึงจุดที่ตั้งโครงการ (กม.)

S = ความลาดเอียงของพื้นท้องลำน้ำ (ม./ม.)

H = ระดับพื้นลำน้ำที่จุดไกลสุด-ระดับพื้นลำน้ำที่จุดที่ตั้งโครงการ (ม.) อย่างไรก็ตามเพื่อไม่ให้ผลการคำนวณค่า Tc มีค่าน้อยเกินไป ควรใช้ค่า H เฉลี่ย ซึ่งคำนวณได้จากความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (ST) ดังแสดงในรูปด้านล่าง (วีระพล, 2531)



LONGITUDINAL STREAM SLOPE

ที่มา: หนังสืออุทกวิทยาประยุกต์ (วีระพล, 2531)

ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C

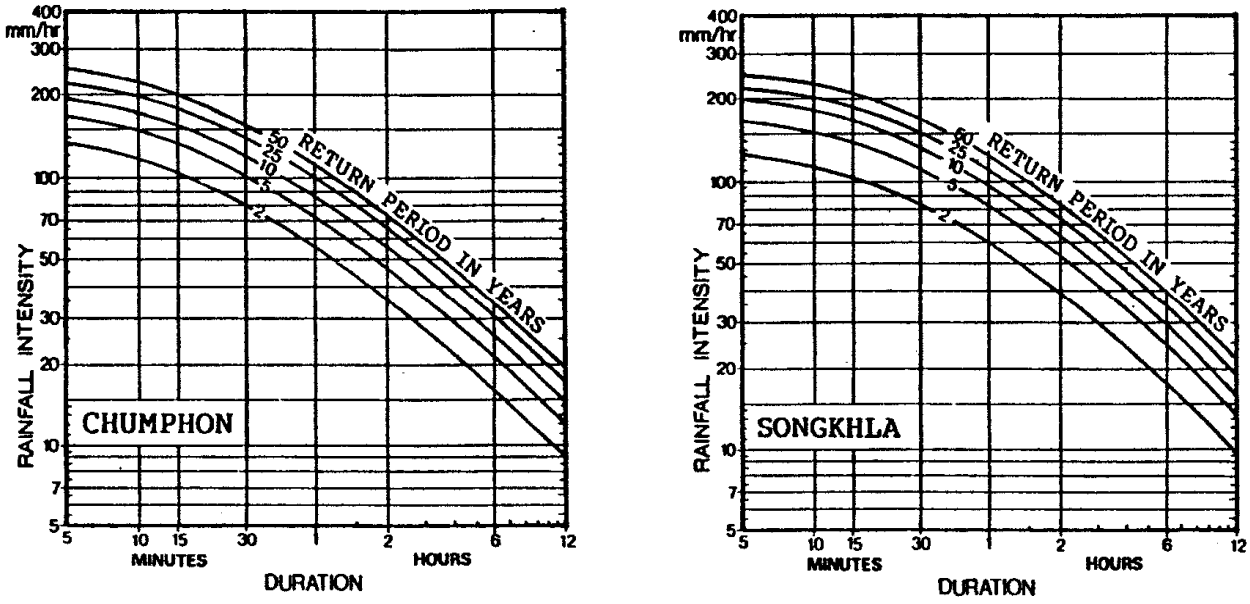
ภูมิประเทศและต้นไม้ปกคลุม	ดินทรายปนดินตะกอน	ดินเหนียวปนดินตะกอน	ดินเหนียวเลน
พื้นที่เป็นป่า (Woodland)			
- ที่ราบ (ลาด 5-10%)	0.10	0.30	0.40
- เป็นลูกคลื่น (ลาด 5-10%)	0.25	0.35	0.50
- เป็นเนิน (ลาด 5-30%)	0.30	0.50	0.60
ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ (Pasture)			
- ที่ราบ	0.10	0.30	0.40
- เป็นลูกคลื่น	0.16	0.36	0.55
- เป็นเนิน	0.22	0.42	0.60
พื้นที่เพาะปลูก (Cultivated)			
- ที่ราบ	0.30	0.50	0.60
- เป็นลูกคลื่น	0.40	0.60	0.70
- เป็นเนิน	0.52	0.72	0.82
ลักษณะพื้นที่	- ในเมือง (Business Area)		0.60-0.75
	- หมู่บ้านจัดสรร		0.50-0.70
	- ถนน		0.75-0.85
	- หลังคา		0.75-0.95

ตารางแสดงสูตรหาค่า T_c ตามวิธีการต่างๆ

วิธีการของ	สูตรหาค่า T_c (min)	หมายเหตุ
1. Kirpich (1940)	$Tc = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385}$ L = ความยาวของทางระบายจากจุดไกลสุดถึงทางออก (FT) S = ความลาดเฉลี่ยของพื้นที่ (FT/FT)	ก.เหมาะกับพื้นที่ที่มีความลาดชัน 3-10 % และมีวัชพืชปกคลุม ข. พื้นผิวคอนกรีต แอสฟัลท์ $T_{CR}=T_C \times 0.4$ ค. รางคอนกรีต $T_{CR}=T_C \times 0.2$
2. California Culverts Practice (1942)	$T_c = 60(11.9L3/H)0.385$ L = ระยะทางของการไหลที่ไกลที่สุด (mi) H = ความแตกต่างของระดับ ณ จุดเริ่มต้นของการไหลถึงจุดทางออก (ft)หรือ $T_c = ((0.87L^3)/H)^{0.385}$ L = ระยะทางของการไหลที่ไกลที่สุด (Km.) H = ความแตกต่างของระดับ ณ จุดเริ่มต้นของการไหลถึงจุดทางออก (m)	ดัดแปลงมาจากสูตรของ Kirpich ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กตามหุบเขา
3. Federal Aviation Administration (1970)	$T_c = 1.8\ (1.1 - C)\ L^{0.50}/S^{0.333}$ C = สัมประสิทธิ์การไหลนอง L = ระยะทางของการไหล (ft) S = ความลาดของพื้นที่ (%)	ใช้กับงานออกแบบระบายน้ำของสนามบินและพื้นที่ระบายน้ำในเมือง
4.U.S' Department of Agriculture Soil Conservation Service (SCS:1986)	$T_c = \frac{1}{60} \Sigma \frac{L}{V}$ L = ระยะทางของการไหล (ft) V = ความเร็วของการไหล (ft/s)	ใช้ได้กับลักษณะพื้นที่หลายประเภทโดยเลือกใช้ตามความเหมาะสม
5. CMD (พ.ศ.2511)	$T_c = 10 + L/V$ L = ระยะทางของการไหล (m) V = ความเร็วของการไหล (m/min)	ใช้กับพื้นที่ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งเมืองที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายกรุงเทพฯ

วิธีการของ	สูตรหาค่า T_c (min)	หมายเหตุ
6. Kerby's Equation(1959)	$T_c = c(n.Ls^{-0.5})^{0.467}$ L = ความยาวของการไหล < 365 m (1000 ft) c = 1.44 เมื่อ L เป็น m = 0.83 เมื่อ L เป็น ft S = ความลาดชัน n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิวการไหล	
7. Bransby Williams Equation (1922)	$T_c = 21.3\ L/(A^{0.1}.S^{0.2})$ L = ความยาวจากจุดไกลสุดถึงทางออก (ไมล์) A = พื้นที่รับน้ำ (ตร.ไมล์) S = ความลาดชันของพื้นที่ระบายน้ำ	

- **ความเข้มน้ำฝน (Rainfall Intensity, I)** หาได้จากสถิติข้อมูลน้ำฝนที่ได้วิเคราะห์เป็นกราฟความเข้มน้ำฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curve) ของแต่ละจังหวัดที่ตั้งโครงการ ดังแสดงตัวอย่างกราฟความเข้มน้ำฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ ดังรูปข้างล่าง โดยเมื่อทราบค่าช่วงเวลาน้ำฝนจากค่า T_c และรอบปีการเกิดซ้ำที่เหมาะสมกับงานแล้ว ก็สามารถอ่านค่าความเข้มฝนที่สอดคล้องกับข้อมูลดังกล่าวได้



ที่มา: (Mustonen, 1969; วีระพล. 2531)

(2.2) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า(Unit Hydrograph) เป็นวิธีที่เหมาะสมในการประเมินปริมาณน้ำนองสูงสุด (ทั้งขนาดและปริมาตร) ณ จุดพิจารณาที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำระหว่าง 25 ถึง 2,500 ตร. กม. โดยทั่วไป ณ จุดพิจารณาที่มีสถานีตรวจวัด กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสามารถประเมินได้จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดได้โดยตรง อย่างไรก็ตามสำหรับจุดพิจารณาที่ไม่มีข้อมูลตรวจวัดน้ำ (Ungauged Catchment) ต้องใช้วิธีสังเคราะห์กราฟหนึ่งน้ำท่า (Synthetic Unit Hydrograph) มาใช้วิเคราะห์ โดยประกอบด้วยหลายวิธีเช่น วิธี Snyder วิธี Modified Snyder และวิธี SCS เป็นต้น สำหรับคู่มือนี้ขอนำเสนอวิธี SCS ของหน่วยงานอนุรักษ์ดิน (Soil Conservation Service, SCS) แห่งสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้คำนวณหากราฟน้ำนองสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ โดยวิธี Unit Hydrograph จะแปลงค่าน้ำฝนที่เหลือจากการซึมลงดิน (Rainfall excess) ซึ่งเกิดในช่วงเวลาหนึ่งทั่วพื้นที่รับน้ำฝนให้เป็นน้ำท่าไหลบนดิน การคำนวณจะให้ผลออกมาเป็นกราฟน้ำนอง ซึ่งเป็นผลรวมของกราฟน้ำนองย่อย ๆ ของ Rainfall excess ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ หลายช่วงต่อเนื่องกัน ปริมาณน้ำนองสูงสุดคือ ยอดของกราฟน้ำนอง กรณีน้ำนองนี้อาจใช้ประโยชน์ต่อไปโดยนำไปคำนวณเกี่ยวกับ Flood Routing เพื่อหาขนาดที่ปลอดภัยของอาคารระบายน้ำต่าง ๆ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำนองสูงสุดโดยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี SCS มีดังนี้ (SCS, 1986; Chow et al., 1988; Charles et al., 1997; Subramanya, 2007)

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p}$$

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

$$t_p = 0.6T_c$$

$$t_r = t_p / 5$$

โดยที่ q_p = อัตราการไหลสูงสุดของ Unit Hydrograph (ลบ.ม./วินาที)

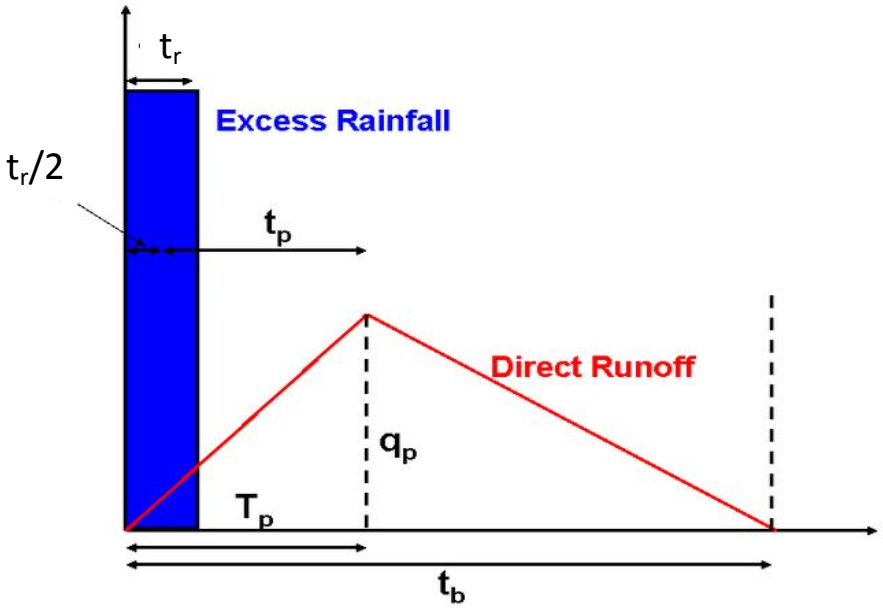
A = ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)

T_p = เวลาที่ใช้ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดของ Unit Hydrograph นับจากเมื่อเริ่มมี Rainfall excess (ชม.)

t_p = basin lag หรือคือเวลาที่นับจากจุด centroid ของกราฟ Rainfall excess ถึงเวลาที่เกิด peak ของ Unit Hydrograph (ชม.)

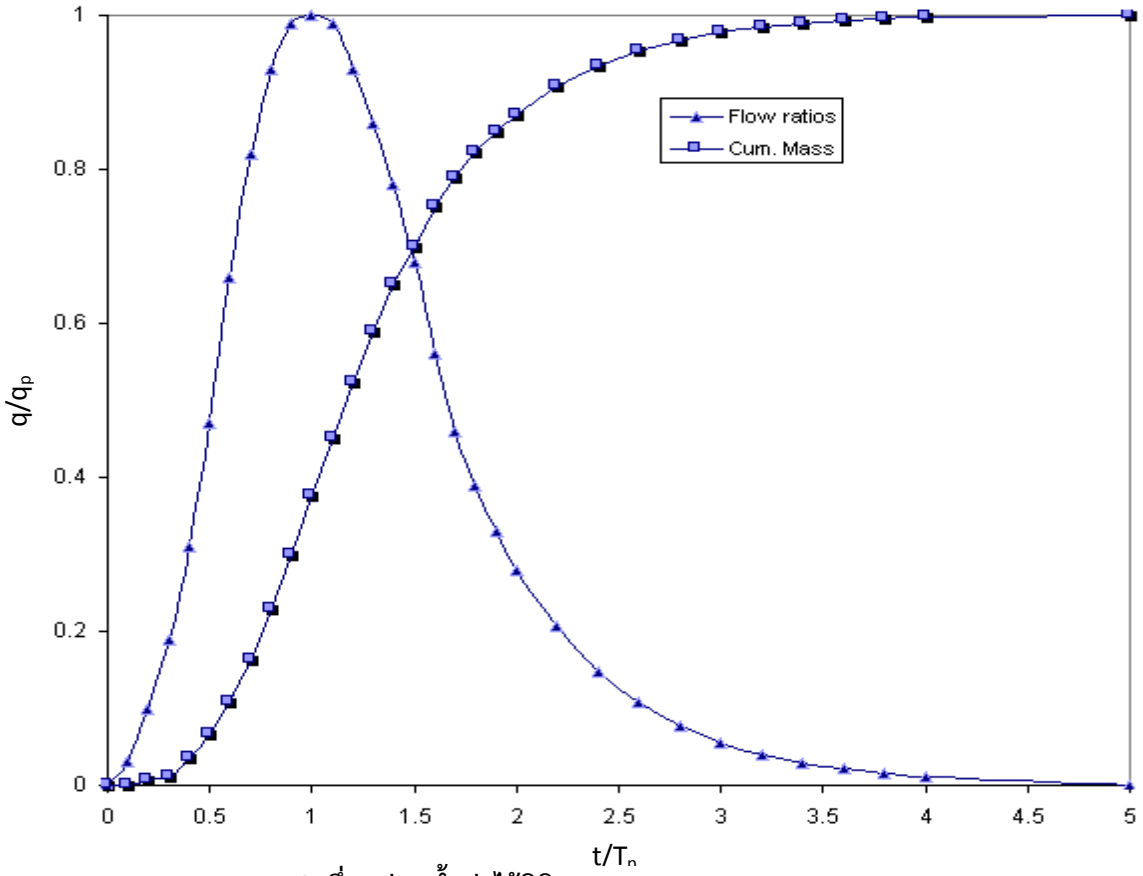
t_r = ช่วงเวลาการเกิด Rainfall excess (ชม.)

T_c = ช่วงเวลาการตกของฝน (Time of concentration) เท่ากับเวลาที่น้ำใช้ในการไหลจากจุดไกลที่สุดของพื้นที่รับน้ำฝนมาถึงโครงการ (ชม.)



ที่มา : หน่วยงานอนุรักษ์ดิน SCS (Soil Conservation Service, 1972) แห่งสหรัฐอเมริกา

● **ค่าปริมาณน้ำนองที่เวลาต่าง ๆ** ของ Unit Hydrograph หาได้จาก Dimensionless Unit Hydrograph ของหน่วยงาน SCS (Soil Conservation Service) ตามตารางข้างล่าง ซึ่งได้จัดทำขึ้นจากการศึกษา Unit Hydrograph ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจำนวนหลาย ๆ อัน ซึ่งมีขนาดและลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่รับน้ำฝนแตกต่างกันดังแสดงในรูป



กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าไร้มิติ (Dimensionless Unit Hydrograph)

Time Ratios (t/T_p)	Discharge Ratios (q/q_p)	Time Ratios (t/T_p)	Discharge Ratios (q/q_p)
0.0	0.000	1.6	0.560
0.1	0.030	1.7	0.460
0.2	0.100	1.8	0.390
0.3	0.190	1.9	0.330
0.4	0.310	2.0	0.280
0.5	0.470	2.2	0.207
0.6	0.660	2.4	0.147
0.7	0.820	2.6	0.107
0.8	0.930	2.8	0.077
0.9	0.990	3.0	0.055
1.0	1.000	3.2	0.040
1.1	0.990	3.4	0.029
1.2	0.930	3.6	0.021
1.3	0.860	3.8	0.015
1.4	0.780	4.0	0.011
1.5	0.680	5.0	0.000

ที่มา : หน่วยงานอนุรักษ์ดิน SCS (Soil Conservation Service) แห่งสหรัฐอเมริกา

● **อัตราการซึมลงดินของน้ำ (infiltration)** ขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายอย่าง ที่สำคัญคือชนิดของดิน ดังนี้

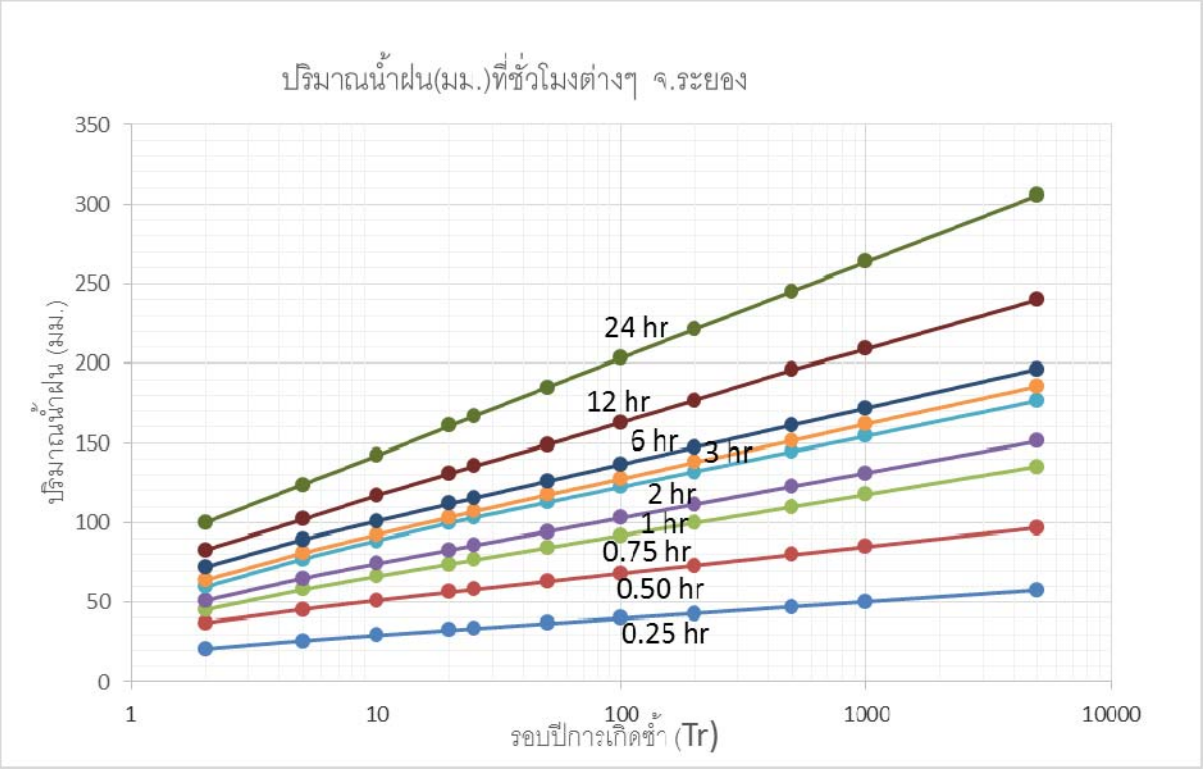
ชนิดดิน	อัตราการซึมน้ำ (ซม./ชม.)
ดินเหนียว	0.1-0.5
ดินร่วนปนดินเหนียว	0.5-1.0
ดินร่วนปนดินตะกอน	1.0-2.0
ดินร่วนปนทราย	2.0-3.0
ดินทราย	3.0-10.0

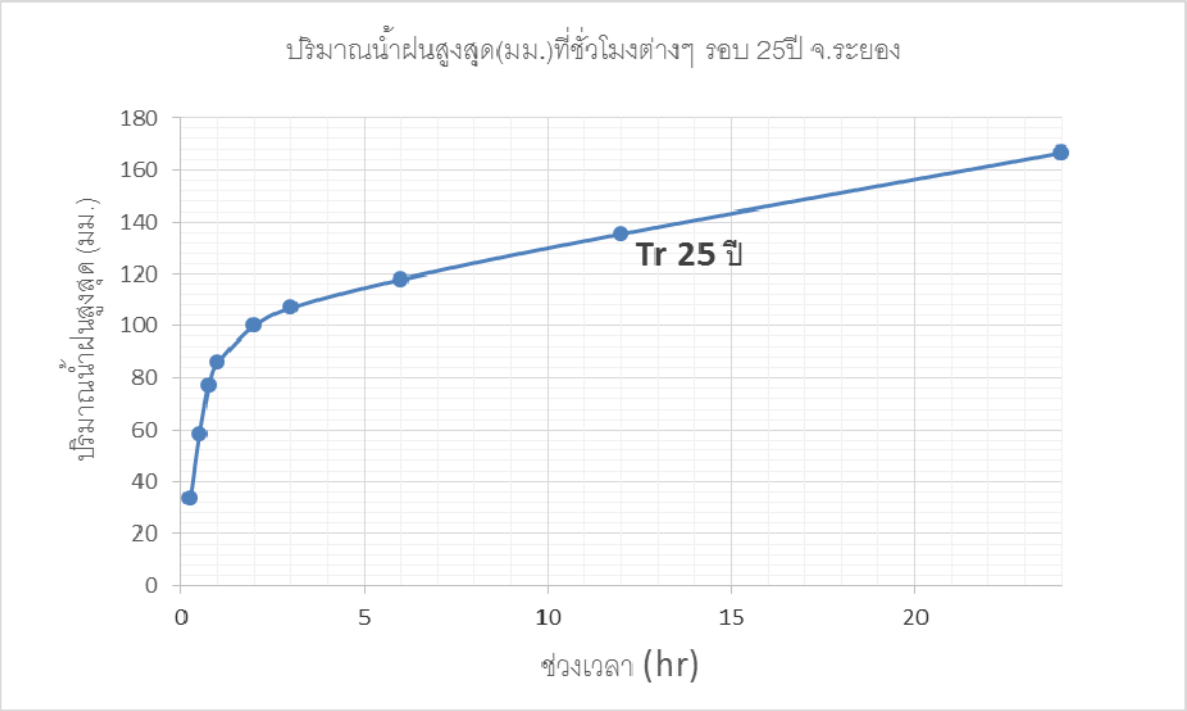
สำหรับพายุฝนครั้งแรก อัตราการซึมจะสูงเมื่อฝนเริ่มตกและอัตราการซึมจะลดลงเมื่อฝนตกต่อไปนาน ๆ แต่ในการออกแบบนิยมใช้อัตราการซึมคงที่สำหรับพายุฝนขนาดใหญ่ (Major Storm)

แฟคเตอร์อื่น ๆ ที่มีผลต่อการซึมลงดินของน้ำ เช่น พืชปกคลุมดิน ความลาดเอียงของพื้นที่อุณหภูมิ คุณภาพน้ำและความแน่นของดิน เป็นต้น

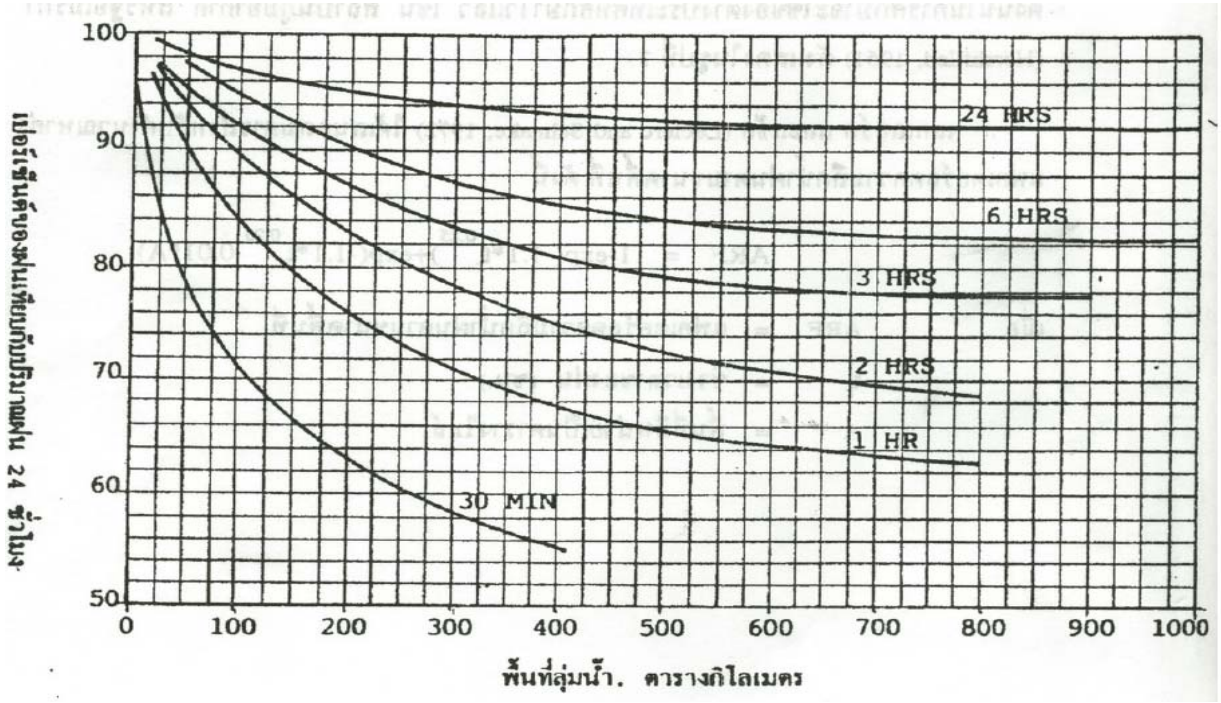
อนึ่ง น้ำฝนที่เหลือเป็นน้ำไหลบนดินนั้นที่จริงเป็นน้ำฝนทั้งหมดหักออกด้วยน้ำที่สูญเสียจากการซึม น้ำที่ค้างอยู่แอ่งน้ำ (Depression) และน้ำที่ค้างอยู่ตามต้นไม้ ใบไม้ หรือ ท่อนไม้(detention) ซึ่งเป็นส่วนน้อยและไม่เป็นน้ำไหลบนดิน

● **ความลึกน้ำฝนสูงสุดกับช่วงเวลา(Rainfall - Duration)** หาได้จากการอ่านค่าน้ำฝนจากกราฟความลึก-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำของจังหวัดที่ตั้งโครงการ ดังตัวอย่างในรูปข้างล่าง จะได้ค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุด (ซม.) ในแต่ละช่วงเวลา (ชม.) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำฝนกับช่วงเวลา ดังตัวอย่างแสดงในรูป





● **แฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ (Areal Rainfall Reduction Factor)** การนำค่าความลึกน้ำฝนที่อ่านได้จากกราฟความลึก-ช่วงเวลา ตามขั้นตอนข้างบนไปใช้กับพื้นที่ฝนตกขนาดใหญ่จะทำให้มีค่าสูงเกินความเป็นจริง เพราะโอกาสที่ฝนจะตกหนักเฉลี่ยคลุมพื้นที่ขนาดกว้าง ๆ นั้นมีโอกาสน้อย ดังนั้นการนำค่าความลึกน้ำฝนไปใช้จำเป็นจะต้องมีแฟคเตอร์คูณเพื่อลดขนาดความลึกของน้ำฝนเฉลี่ยสำหรับพื้นที่กว้าง ๆ ลงให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงสำหรับประเทศไทยนั้นยังไม่ได้มีการพัฒนากราฟแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ดังนั้นในการศึกษาจะใช้ของต่างประเทศที่ศึกษาไว้แล้ว เช่น สถาบันภูมิอากาศสหรัฐอเมริกา (Hershfiled, 1961) ดังตัวอย่างแสดงในรูป



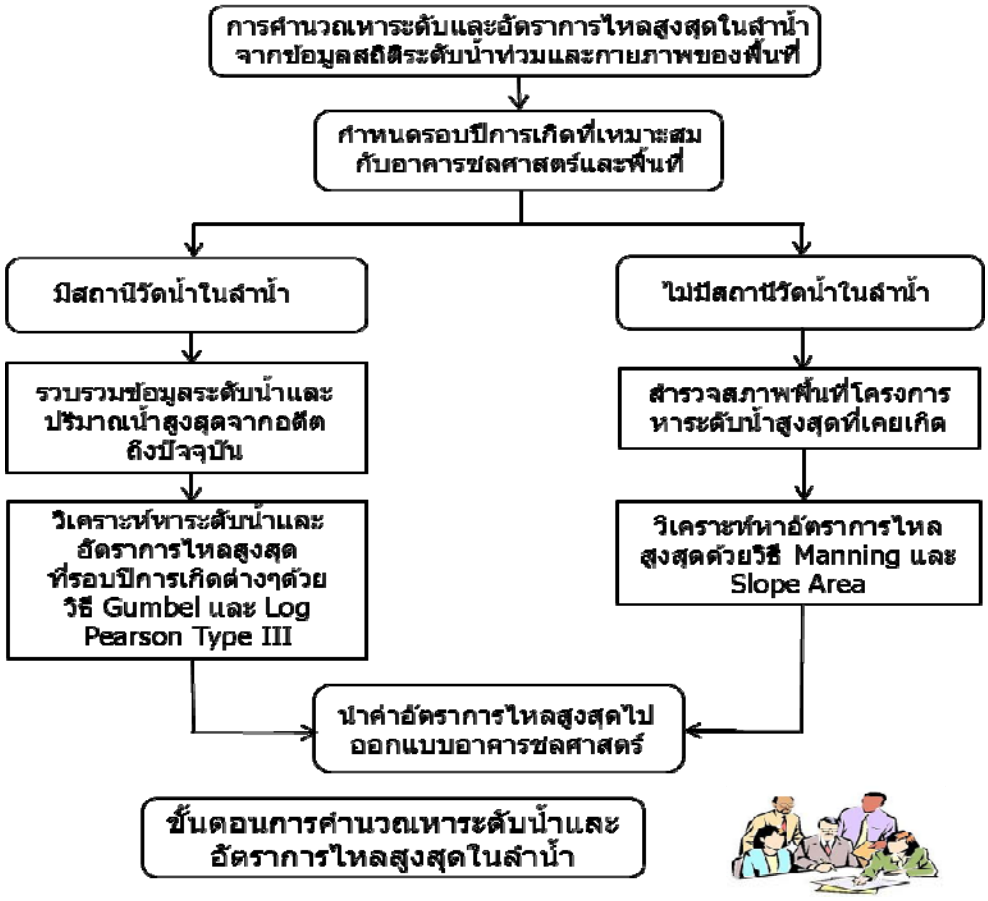
เลคเลอร์ค และแช็ค (Leclerc and schaake, 1972) ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ ดังนี้

$$ARF = 1 - \exp\left(-1.1\, t_r^{0.25}\right) + \exp\left(-1.1\, t_r^{0.25} - 0.01\, A\right)$$

เมื่อ ARF = แฟคเตอร์ลดความลึกน้ำฝนตามขนาดพื้นที่

t_r = ช่วงเวลาของฝน (ชม.)

A = พื้นที่มีหน่วยเป็นตารางไมล์



(2.3) วิธี Manning เป็นวิธีคำนวณปริมาณการไหลของลำน้ำ โดยอาศัยหลักการทางชลศาสตร์ของรูปตัดลำน้ำ ที่มีการไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow)โดยลำน้ำมีความลาดเอียงและมีพื้นที่หน้าตัดคงที่เป็นระยะทางที่ยาวเพียงพอ วิธีนี้ใช้เมื่อมีข้อมูล รูปตัดลำน้ำ และระดับน้ำสูงสุด ซึ่งได้จากการสำรวจในสนาม เหมาะสำหรับลำน้ำที่มีรูปตัดแน่นอน เช่น คลองส่งน้ำ ท่อระบายน้ำ อุโมงค์ส่งน้ำ สูตร Manning มีดังนี้

$$V = (1/n)R^{2/3} * S^{1/2}$$

$$Q = AV$$

$$R = A/P$$

$$S = H/L$$

เมื่อ V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (ม./วินาที)

S = ความลาดชันของ energy gradient (ม./ม.)

R = รัศมีชลศาสตร์ (ม.)
A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำ (ตร.ม)
P = ความยาวเส้นขอบเปียก (ม.)
N = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวสัมผัส ดังตารางข้างล่าง
Q = อัตราไหล (ลบ.ม./วินาที)

จากสูตรข้างต้น หากถือว่าน้ำไหลด้วยความเร็วสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางแล้ว
S = ความลาดชันของท้องน้ำ เมื่อการไหลแบบ Uniform Flow
S = H/L
เมื่อ H = ผลต่างของระดับน้ำลำน้ำ 2 จุด (ม.)
L = ระยะตามแนวน้ำไหลระหว่าง 2 จุดนั้น (ม.)

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวสัมผัส "n"

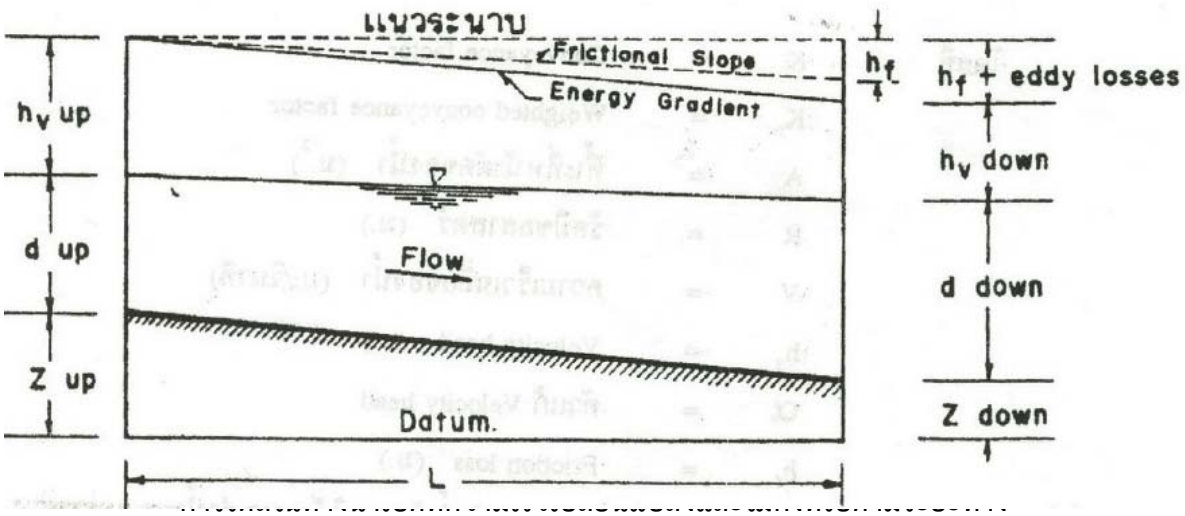
ลักษณะของลำน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์
คลองส่งน้ำ	
คลองดินขุด	0.025
คลองหินขุด	0.040
คอนกรีต	0.013
ไม้	0.014
เหล็ก	0.012
ลำน้ำธรรมชาติบนพื้นราบ	
พื้นเรียบตรงไม่มีกรวดและวัชพืช	0.025-0.033
พื้นเรียบตรงมีกรวดและวัชพืช	0.030-0.040
พื้นไม่เรียบลำน้ำทั่วไปคดเคี้ยว	0.033-0.045
พื้นไม่เรียบมีแอ่งคดเคี้ยววัชพืชและกรวดหิน	0.035-0.050
มีวัชพืชหนาแน่น แอ่งลึก ที่ลุ่มน้ำท่วมมีต้นไม้ขึ้นหนาแน่น	0.075-0.150
ลำน้ำธรรมชาติบนภูเขา	
พื้นที่มีกรวด หิน หินก้อนบ้างเล็กน้อย ไม่มีวัชพืช	0.030-0.050
พื้นมีหิน และหินก้อนใหญ่ (Boulder) อยู่ทั่วไป	0.040-0.070

(2.4) วิธี Slope Area เป็นวิธีการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุด โดยใช้ข้อมูลทางกายภาพของลำน้ำ ซึ่งการไหลในลำน้ำธรรมชาติ ความเร็วของน้ำจะเปลี่ยนแปลงและไม่คงที่ไปตามระยะทาง การคำนวณดัดแปลงสูตร Manning มาคำนวณหาปริมาณน้ำนองสูงสุดของลำน้ำธรรมชาติ ดังนี้

- **สำรวจลักษณะทางกายภาพของลำน้ำและรูปตัดลำน้ำ** อย่างน้อย 3 แห่ง บนช่วงลำน้ำ ซึ่งยาวไม่น้อยกว่า 75 เท่าของความลึกของน้ำ และช่วงความยาวดังกล่าวของลำน้ำระดับน้ำด้านท้ายน้ำควรต่ำกว่าระดับน้ำด้านเหนือน้ำไม่น้อยกว่า Velocity Head ($V^2/2g$) หรือไม่น้อยกว่า 0.15 เมตร
- **เก็บข้อมูลระดับน้ำในลำน้ำที่ระดับสูงสุด** ที่สังเกตได้หรือจากการสอบถามชาวบ้าน
- **กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ:n** ซึ่งดูรายละเอียดในวิธีการหาค่า n

วิธีการคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดโดยวิธี Slope Area มีสูตรการคำนวณโดยพิจารณาของการไหลในทางน้ำเปิดตามรูปข้างล่าง โดยอาศัยหลักการจากสูตร Manning ดังนี้

$$\text{จากสูตร Manning } Q = (1/n)AR^{2/3}S^{1/2}$$
$$\text{ให้ } K = (1/n)AR^{2/3}$$
$$\text{จะได้ } Q = KS^{1/2}$$



สามารถเขียนสูตรสำหรับคำนวณหาปริมาณน้ำนองสูงสุดโดยวิธี Slope Area ได้ดังต่อไปนี้

$$Q = K_w S_f^{1/2}$$
$$\text{เมื่อ } K_w = (K_{upstream} \times K_{downstream})^{1/2}$$
$$h_V = \alpha V^2/2g$$
$$\text{เมื่อ } \alpha = \Sigma(K^3/A^2)/\{(\Sigma K)^3/(\Sigma A)^2\}$$
$$\Delta h_V = h_{VUP} - h_{Vdown}$$
$$\Delta h = \text{ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ}$$
$$\text{เมื่อ } \Delta h_V \text{ มีค่าบวก, } h_f = \Delta h + 0.5\Delta h_V$$
$$\text{เมื่อ } \Delta h_V \text{ มีค่าลบ, } h_f = \Delta h + \Delta h_V$$
$$\text{และ } S_f = h_f/L$$

โดยที่ K = Conveyance factor
K_w= Weighted conveyance factor
A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำ (ตร.ม.)
R = รัศมีชลศาสตร์ (ม.)
V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำ (ม./วินาที)
h_v = Velocity head (ม.)
α = ตัวแก้ Velocity head
h_f = Friction loss (ม.)
L_m = ความยาวลำน้ำวัดตามแนวโค้งของแต่ละช่วง(ม.)
L_s = ความยาวลำน้ำวัดตามแนวตรงของแต่ละช่วง(ม.)
S_f = Frictional slope (ม./ม.)
N = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ

ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำโดย U.S. Soil Conservation Service ได้กำหนดวิธีการคำนวณ ดังนี้

- กำหนดค่า Basic n_1
- กำหนดค่า n_2 สำหรับความขรุขระของผิวสัมผัสหรือความไม่ราบเรียบของผิวน้ำ
- กำหนดค่า n_3 สำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของรูปตัดลำน้ำ
- กำหนดค่า n_4 สำหรับสิ่งกีดขวางในลำน้ำ เช่น รากไม้ ท่อนซุง สวะ
- กำหนดค่า n_5 สำหรับพืชและต้นไม้ที่ขึ้นในลำน้ำ
- กำหนดค่า n_6 สำหรับความคดโค้งของลำน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (โดย U.S. Soil Conservation Service)

ค่า n_1 สำหรับ Basic n

ผิวลำน้ำ เป็นดิน	0.010
ผิวลำน้ำ เป็นหิน	0.015
ผิวลำน้ำ เป็นกรวดละเอียด	0.014
ผิวลำน้ำ เป็นกรวดหยาบ	0.028

ค่า n_2 สำหรับความไม่ราบเรียบของผิวสัมผัส

ผิวเรียบ	0.000
ค่อนข้างเรียบ	0.005
เรียบปานกลาง	0.010
ขรุขระ (ไม่เรียบ)	0.020

ค่า n_3 สำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาด และรูปร่างของรูปตัดลำน้ำ

เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	0.000
เปลี่ยนแปลงบ้าง	0.005
เปลี่ยนแปลงมาก	0.010 ถึง 0.015

ค่า n_4 สำหรับสิ่งกีดขวางในลำน้ำ เช่น ท่อนไม้ รากไม้ ฯลฯ

ไม่มี	0.000

มีน้อย	0.010
มีพอสมควร	0.030
มีมาก	0.060

ค่า n_5 สำหรับพืชและต้นไม้ที่ขึ้นในลำน้ำ

มีน้อย	0.005 ถึง 0.010
มีปานกลาง	0.010 ถึง 0.025
มีมากพอควร	0.025 ถึง 0.050
มีมากทีเดียว	0.050 ถึง 0.100

ค่า n_6 สำหรับความคดโค้งของลำน้ำ

L_m/L_s	n_6
1.0-1.2	0.00
1.2-1.5	$0.15n_s$
มากกว่า 1.5	$0.30\ n_s$

เมื่อ L_m = ความยาวของลำน้ำวัดตามแนวโค้ง

L_s = ความยาวของลำน้ำวัดตามแนวตรง

n_s = $n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5$

n = $n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6$

อนึ่ง วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ n ตามที่กล่าวข้างต้น ควรกำหนดค่า n ที่ส่วนต่างๆ ของรูปตัดลำน้ำ ซึ่งค่า n ของส่วนต่างๆในลำน้ำเดียวกันไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากัน รูปตัดลำน้ำ รูปหนึ่งอาจแบ่งเป็นหลายส่วนดังนี้

- ส่วนของลำน้ำที่มีค่าระดับต่ำ (Low Flow Channel)
- ส่วนของลำน้ำฝั่งซ้ายที่มีน้ำท่วมถึง (Left Over Bank)
- ส่วนของลำน้ำฝั่งขวาที่มีน้ำท่วมถึง (Right Over Bank)
- ส่วนของลำน้ำเล็กๆ ที่เกิดบนฝั่ง (Secondary Channel)

2) เกณฑ์การออกแบบทางด้านอุทกวิทยาของโครงสร้างชั่วคราว

ข้อพิจารณาการเลือกค่ารอบปีสำหรับใช้ออกแบบ โครงสร้างชั่วคราวที่ต้องดำเนินการในช่วงเวลาการก่อสร้างโครงสร้างหลัก เช่น ทางผันน้ำอ้อมบ่อก่อสร้างประตูระบายน้ำหรือฝายน้ำล้น คันป้องกันน้ำท่วมบ่อก่อสร้าง เป็นต้น ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความเสี่ยงจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างโครงการและค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ ดังสมการ จาก Elementary Engineering Hydrology, M.J. DEODHAR

$$\mathbf{Risk = 100\text{-}100(1\text{-}1/T_r)^d}$$

เมื่อ Risk = ความเสี่ยงที่จะเกิดอุทกภัยสูงกว่าค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ(T_r)

T_r = ค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ และ d = ระยะเวลาก่อสร้าง

ระยะเวลาก่อสร้าง	1 ปี	2 ปี	3 ปี
ค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ	20 ปี	40 ปี	60 ปี
ความเสี่ยงที่จะเกิดอุทกภัยสูงกว่าค่ารอบปีที่ใช้ออกแบบ	5 %	4.94 %	4.92 %

3.2 การออกแบบโครงสร้างทั่วไป

1) มาตรฐานทั่วไป การออกแบบจะเป็นไปตามมาตรฐานการปฏิบัติด้านวิศวกรรมระหว่างประเทศที่กำหนดไว้ดังนี้

- American Concrete Institute (ACI)
- United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation (USBR)
- United States Department of Army Corps of Engineer
- American Association of States Highway Officials (AASHTO)
- American Society for Testing of Materials (ASTM)
- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Water Works Association (AWWA)
- Thai Industrial Standards (TIS)
- Japanese Industrial Standards (JIS)

2) ข้อกำหนดและคุณสมบัติของวัสดุ สำหรับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปจะยึดถือมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย และ United States Standard (ACI-Code 318-71) ทฤษฎี " Allowable Working Stress Design" หรือ ACI-318-77, 1977 (Ultimate Strength)

(1) คอนกรีต (Concrete) กำหนดให้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตไม่เสริมเหล็กสำหรับอาคารชลศาสตร์มีค่า fc'= 140 กก./ตร.ซม. และสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคารชลศาสตร์มีค่า fc' = 175 กก./ตร.ซม. หรือนอกจากระบุไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น เมื่อค่า fc' = คือ แรงกดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ที่มีอายุการบ่ม 28 วัน

(2) เหล็กเสริมคอนกรีต (Reinforced steel) คุณสมบัติของเหล็กเสริมต้องเป็นไปตามมาตรฐานของ มอก.24-2527 สำหรับเหล็กข้ออ้อย (Deformed Bars) และ มอก. 20-2527 สำหรับเหล็กกลม (Round Bars) หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมคอนกรีตจะต้องเป็นไปตามนี้

สำหรับเหล็กกลมชั้น SR24 = 1,200 กก./ตร.ซม.
สำหรับเหล็กข้ออ้อยชั้น SD30 = 1,500 กก./ตร.ซม.
โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)= 2.04×10^6 กก./ตร.ซม.

(3) เหล็กโครงสร้าง (Structural Steel)

เหล็กโครงสร้างในที่นี้หมายถึง วัสดุที่ใช้ในการทำบานประตูระบายน้ำ บานอัดน้ำ ประตูน้ำ (Intake Gate) ตะแกรงกันสวะ ราวลูกกรง บันไดลิง เครื่องกว้าน และอื่นๆ การออกแบบจะพิจาณาวัสดุที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานดังเกณฑ์ต่อไปนี้

- เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ตามาตรฐาน มอก.116-2529
- ทองบรอนซ์ (Bronze) ซึ่งใช้เป็น Gate seat ตามมาตรฐาน ASTM Designation : B22-85
- เหล็กแผ่น (Steel **Plate**) ตามมาตรฐาน ASTM Designation : A-246

- เหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ตามมาตรฐาน ASTM Designation : ASTM 276-86a, ASTM A 167-86 types 304 and 316 ใช้เป็นสลักหูยกบานระบายและชิ้นส่วนข้อต่อบานที่จมน้ำ
- เหล็กหล่อ (Cast Iron) ตามมาตรฐาน ASTM Designation : A 48-83, Class 30
- สลักเกลียวที่ใช้ในงานประตูน้ำเหล็กหล่อ ราวลูกกรง บันไดลิง ตะแกรงกันสวะ (Trash rack) และอื่นๆ ตามมาตรฐาน ASTM Designation A 307086a
- ท่อเหล็กที่ใช้ทำเสา ราว และบันไดลิง ฯลฯ เป็นท่อชนิด Standard black pipe ตามมาตรฐาน มอก.276-2521 ประเภทที่ 2 การประกอบใช้วิธีเชื่อมทั้งหมดหรือพิจารณาใช้ท่อเหล็กอาบสังกะสีตามมาตรฐาน มอก.277-2521 ประเภทที่ 2 ในการประกอบเป็นเสา ราว หรือบันไดลิง โดยใช้ข้อต่อแทน

3) แรงที่กระทำต่ออาคาร สำหรับอาคารทั่วไปนั้น จะต้องสามารถที่จะรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย น้ำหนักเหล่านี้ ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ น้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักอื่นที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีแรงดันดิน แรงดันน้ำ ที่กระทำต่ออาคารอีกด้วย

(1) น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads) น้ำหนักของโครงสร้างเอง เช่น องค์อาคาร พื้น กำแพง หลังคา ฐานราก ตลอดจนเครื่องสุขภัณฑ์ต่างๆ น้ำหนักบรรทุกคงที่จะคิดได้จากคุณสมบัติของวัสดุดังนี้

- คอนกรีตเสริมเหล็ก 2,400 กก./ลบ.ม.
- คอนกรีตล้วน 2,300 กก./ลบ.ม.
- เหล็ก 7,850 กก./ลบ.ม.
- น้ำ 1,000 กก./ลบ.ม.
- ดินแห้ง 1,600 กก./ลบ.ม.
- ดินบดอัดแน่น 1,900 กก./ลบ.ม.
- ดินบดอัดแน่นอิ่มตัวด้วยน้ำ 2,150 กก./ลบ.ม.
- หินจมน้ำ 1,700 กก./ลบ.ม.

(2) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads) ประกอบด้วย

- Surcharge for Wall 900 กก./ตร.ม.(นน.กองดินสูง 0.60 ม.)
- Operating Platform with Stop log 750 กก./ตร.ม.
- Operating Platform without Stop log 500 กก./ตร.ม.
- Live Load on Floor 300 กก./ตร.ม.

(3) แรงดันด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน (Retaining Wall or Slope Wall) ในการออกแบบอาคารกันดิน เช่น กำแพงกันดินและเข็มพืด จำเป็นต้องหาขนาดของแรงดันด้านข้างที่อาคารจะต้องรับ

- แรงดันดินแบบ Active หมายถึงแรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินทางด้านข้างแล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินถมหลังกำแพง แรงดันดินที่กระทำต่อผนังกำแพงจะลดลงทีละน้อยจนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนตัวอีกดินถมหลังกำแพงก็จะพังทลาย แรงดันที่น้อยที่สุด ณ จุดดินเกิดการพังทลาย เรียกว่า แรงดันแบบ Active (σ_{ha})

$$\sigma_{ha} = K_a \cdot \sigma_v$$

ในเมื่อ K_a = สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ Active

σ_{ha} = แรงดันดินด้านข้างแบบ Active, กก.

σ_v = แรงดันดินในแนวดิ่ง, กก.

- แรงดันดินแบบ Passive หมายถึง แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อหน้ากำแพงกันดินเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ของกำแพง แรงดันดินจะเพิ่มขึ้นทีละน้อย จนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนตัวอีกดินด้านหน้ากำแพงก็จะปูดขึ้น จนพังทลาย ค่าแรงดันที่มากที่สุด ณ จุดดินเกิดพังทลาย เรียกว่าแรงดันดิน Passive (σ_{hp})

$$\sigma_{hp} = K_p \cdot \sigma_v$$

ในเมื่อ K_p = สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ Passive

σ_{hp} = แรงดันดินด้านข้างแบบ Passive, กก.

σ_V = แรงดันดินในแนวดิ่ง, กก.

(4) แรงดันน้ำ (Uplift Water Pressure) แรงดันน้ำที่กระทำต่อโครงสร้าง สามารถหาได้โดยใช้หลักการกระจายแรงดันดังรูปสามเหลี่ยม (Triangular distribution) ซึ่งกระทำในทิศทางตั้งฉากกับผิวของโครงสร้าง

สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในน้ำหรือโครงสร้างที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดินจะเกิดแรงลอยตัว (Uplift) หรือ Vertical Component กระทำต่อโครงสร้างจะเท่ากับแรงดันทางท้ายน้ำ (Tail Water Pressure) และค่อยๆเพิ่มขึ้นตามความลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) ระหว่างหัวน้ำ (Headwater) และท้ายน้ำ ในกรณีนี้ความสัมพันธ์ของลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) สมมุติให้เป็นเส้นตรงระหว่าง Headwater และ Tail water

(5) แรงลอยตัว (Buoyance Force) อาคารต่างๆ เช่น อาคารรับน้ำและท่อส่งน้ำ ซึ่งมีช่องว่างอยู่ภายใน เมื่อมีน้ำท่วมอาคารเหล่านี้ จะต้องตรวจสอบการลอยตัวด้วย ดังนั้น จะต้องจัดเตรียมให้อาคารมีน้ำหนักมากกว่าแรงลอยตัวโดยกำหนดให้มีอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่า หรือเท่ากับ 1.3

(6) แรงลม (Wind Load)

- ความเร็วลมประมาณ 160 กม./ชม.เพื่อใช้คำนวณหาระยะพ้นน้ำ(Free Board)
- ความเร็วลมประมาณ 80 กม./ชม. เพื่อใช้คำนวณหาระยะพ้นน้ำต่ำสุด

4) เสถียรภาพของอาคาร (Stability of Structures)

(1) การคำนวณความปลอดภัยเนื่องมาจากการพลิกคว่ำ (Safety against Overturning)

เกณฑ์ความปลอดภัยสำหรับด้าน Overturning มีดังนี้

- Overturning Safety Factor (O.S.F) เกณฑ์ความปลอดภัยเนื่องจากการพลิกคว่ำ คือ อัตราส่วนของโมเมนต์ที่กระทำให้พลิกคว่ำ

$$O.S.F = \frac{Moment_Resisting}{Moment_Overturning}$$

โดยมีเกณฑ์กำหนดได้ดังนี้

สำหรับกรณีปกติ $O.S.F \geq 1.5$

ในกรณีที่คิดผลเนื่องจากแผ่นดินไหวด้วย $O.S.F \geq 1.2$

- เสถียรภาพต้านทานการพลิกคว่ำ อาจตรวจสอบได้จากภาวะเยื้องศูนย์กลางของแรงลัพธ์ที่กระทำบนฐานรากของอาคารโครงสร้าง ซึ่งจะต้องอยู่ภายในหนึ่งในสามของช่วงกลางของความกว้างของฐานราก

อาคารด้านชลศาสตร์มักถูกดันให้เลื่อนไถล เนื่องจากแรงดันในทางราบต่ออาคารเหล่านี้ นั้นสามารถคงทนอยู่ได้ก็เพราะแรงเสียดทาน (friction) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของอาคารกับพื้นดินที่รองรับอาคาร และค่าแรงเสียดทานนี้จะหาได้จากผลคูณระหว่างน้ำหนักของอาคารกับสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน “C” ตามค่าข้างล่างนี้

- หินแข็ง C = 0.80
- หินมีรอยต่อ หินอัดเป็นชั้น C = 0.70
- หน้าสัมผัสของคอนกรีตกับกรวด C = 0.50 – 0.60
- หน้าสัมผัสของคอนกรีตกับทราย C = 0.40 – 0.50
- หน้าสัมผัสของคอนกรีตกับดินเหนียว C = 0.30 – 0.40
- ดินเหนียวแน่น – ปานกลาง C = 0.25 – 0.40
- ดินเหนียวอ่อน – ดินตะกอน C = 0.20 – 0.30

(2) การคำนวณความปลอดภัยเนื่องมาจากการเลื่อนตัว (Safety against Sliding)

เกณฑ์ความปลอดภัยอันเนื่องมาจากการเลื่อนตัวของอาคาร คำนวณได้โดย

$$Safety\ ..Factor\ (FSS) = \frac{(V - U)\tan\phi' + AC'}{H}$$

เกณฑ์ความปลอดภัยกำหนดได้ดังนี้

$FSS \geq 1.5$ สำหรับกรณีปกติไม่คิดผลเนื่องจากแผ่นดินไหว

$FSS \geq 1.2$ สำหรับกรณีที่คิดผลเนื่องจากแผ่นดินไหว

(3) การคำนวณความปลอดภัยเนื่องจากการทรุดตัว (Safety against Settlement)

ในการออกแบบตัวฝายเพื่อไม่ให้เกิดการทรุดตัวนั้น ค่าแรงกดสูงสุดที่ฐานฝายจะต้องน้อยกว่าAllowable Bearing Stress ของดินที่ฐานฝายนั้นจะรับได้ ในการคำนวณค่าแรงกดสูงสุด (Maximum Compression Stress) ที่ฐานฝายโดยใช้สูตร

$$q = \left(\frac{V}{L}\right) \times \left(1 + \frac{6e}{L}\right) < q_a$$

เมื่อ q = แรงกดสูงสุดที่ฐานฝาย (ตัน/ตร.ม.)

V = น้ำหนักบรรทุกกระทำตามแนวดิ่ง (ตัน)

e = ระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงลัพธ์ (ม.)

L = ความยาวของฐานฝาย (ม.)

q_a = Allowable Bearing Stress ของดินฐานราก (ตัน/ตร.ม.)

หมายเหตุ : คิดต่อความกว้างฝาย 1 เมตร

Suggested allowable bearing values for footings of structures appurtenant to small dams

Material	Condition, relative density, or relative consistency	Average standard penetration values in fine-grained soils		Allowable bearing pressure, tons/ft^2
		Effective overburden pressure, lb/in^2	Number of blows per foot	
Massive igneous, metamorphic, or sedimentaion hard rock	Sound (minor cracks allowed)			60
Hard laminated rock such as slate or schist	Sound (minor cracks allowed)			40
Intensely weathered bedrock of any kind except shale(shale is treated as clay)				10
Gravel(GW, GP, GM, GC)				4 to 6
Clay				3 to 5
Cohesionless sands(SW, SP)	Loose	0	4	(2)
		20	12	
		40	17	
	Medium	0	4 to 8	1 to 2
		20	12 to 24	
		40	17 to 40	
	Dense	0	8	2 to 4
		20	24	
		40	40	
Saturated [1]sand, silts, and clays(SM, SC, ML, CL, MH, CH)	Soft		4	0.25
	Mediuim		4 to 10	0.50
	Stiff		11 to 20	1.00
	Hard		20	1.50

[1] Values are for foundations that are almost or completely saturated during the construction period. Bering values can be iIncreased by one-third if the foundation is relatively dry, provided that the criteria on figure 6-34 for “no treatment

[2] Requires compaction

5) เสถียรภาพของคันดิน (Slope stabilities)

(1) กรณีวิกฤตที่ควรพิจารณา (Critical case to be considered) การออกแบบและการวิเคราะห์ความชันของลาดคันดิน เพื่อให้คันดินมั่นคงต่อการไหลเลื่อน (Slide) นั้น จะทำการวิเคราะห์ ณ กรณีวิกฤติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ระหว่างการก่อสร้างคันดินและเมื่อสร้างเสร็จใหม่ (ยังไม่เก็บน้ำ)
- ระหว่างเก็บน้ำ
- น้ำในอ่างเก็บน้ำหรือในคลองลดระดับน้ำอย่างกระทันหัน

(2) เสถียรภาพของคันดิน

การออกแบบคันดินจะต้องมีเสถียรภาพในทุกกรณี โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำที่สุดที่คำนวณได้ การกำหนดค่า Minimum Allowable Factor of Safety สำหรับกรณีต่างๆ จะกำหนดตามเกณฑ์ ดังแสดงในตาราง

แสดงเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของเสถียรภาพคันดิน

Operating Condition	Min. Allowable F.S	
	Static	Seismic
คันดินเพิ่งสร้างเสร็จใหม่ๆ	1.25	1.00
คันดินเก็บกักน้ำเต็มที่	1.50	1.25
ระดับน้ำในอ่างหรือคลองลดลงอย่างรวดเร็ว	1.25	1.00

6) การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

6.1) การกำหนดระยะห่างของเหล็กเสริม

(1) ระยะช่องว่างของเหล็กที่วางขนานกัน (ยกเว้นในเสาและในระหว่างชั้นของเหล็กเสริมในคาน) จะต้องไม่แคบกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้นๆ หรือ $1\frac{1}{3}$ เท่าของขนาดใหญ่ที่สุดของมวลหยาบหรือ 2.5 เซนติเมตร

(2) เหล็กเสริมเอกในผนังหรือในแผ่นพื้นของเสาปลอกเกลียวและปลอกเดี่ยวจะต้องไม่แคบกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กนั้นหรือ$1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบหรือ 4 เซนติเมตร

(3) เหล็กเสริมจะต้องวางห่างจากผิวคอนกรีต โดยวัดระยะจากผิวคอนกรีตถึงผิวเหล็กตามเกณฑ์ ดังนี้

- กรณีเหล็กเสริมชั้นเดียว ถ้าไม่แสดงไว้เป็นอย่างอื่นให้วางตรงกึ่งกลางความหนา
- กรณีเหล็กเสริม 2 ชั้น ระยะระหว่างผิวเหล็กถึงผิวคอนกรีตที่ติดกับแบบไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร และถ้าติดกับดินหรือหินให้ใช้ 7.5 เซนติเมตร นอกจากแสดงไว้เป็นอย่างอื่น
- เหล็กเดือย (Dowel Bars) ต้องมีขนาดและอยู่ในตำแหน่งตามแบบ ก่อนนำไปวางปลายด้านหนึ่งจะต้องทาด้วยยางมะตอยให้ทั่ว
- ในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวห้ามมิให้กระทบกระเทือนที่ปลายเหล็กที่คอนกรีตยังไม่รับการห่อหุ้ม

6.2) การป้องกันเหล็กเสริมโดยความหนาของคอนกรีต (Concrete Covering)

(1) สำหรับเหล็กเสริมในฐานรากและองค์อาคารส่วนสำคัญอื่นๆ ซึ่งเทหล่อคอนกรีตลงกับดินโดยตรง จะต้องมีความหนาห่อหุ้มระหว่างผิวคอนกรีตที่ติดกับดินไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร สำหรับคอนกรีตส่วนที่เมื่อถอดแบบแล้ว จะถูกแดด ฝน หรือสัมผัสกับดิน และเหล็กเสริมนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 15 มิลลิเมตรขึ้นไป ต้องมีความหนาห่อหุ้มไม่น้อยกว่า 4 เซนติเมตร และถ้าใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 15 มิลลิเมตร ลงมา ต้องหุ้มไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร

(2) สำหรับผิวคอนกรีตที่ไม่ได้สัมผัสกับดินโดยตรงหรือถูกแดดฝน ความหนาของคอนกรีตที่ห่อหุ้มเหล็กเสริมในด้านนั้นต้องไม่บางกว่า 2 เซนติเมตร ในแผ่นพื้นและผนังต้องไม่บางกว่า 3 เซนติเมตร ในคาน ในแผ่นพื้นแบบตงคอนกรีตซึ่งมีระยะช่องว่างระหว่างตงไม่เกิน 75 เซนติเมตร จะต้องมีคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่บางกว่า 2 เซนติเมตร

(3) สำหรับเหล็กปลอกเกลียวหรือเหล็กปลอกเดี่ยวในเสา จะต้องมีความหนาของคอนกรีตห่อหุ้มซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับแกนไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตรหรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดมวลรวมหยาบที่ใหญ่สุด

6.3) การกำหนดแรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต (Bond and Anchorage requirement)

(1) ในองค์อาคารรับแรงดัด ซึ่งมีเหล็กเสริมรับแรงดึงขนานกับผิวที่รับแรงอัดหน่วยแรงยึดหน่วงอันเกิดจากแรงดัดที่หน้าตัดใดๆ ให้หาจากสมการข้างล่าง

$$u = \frac{v}{\sum_0 jd}$$

ทั้งนี้ให้นับรวมเหล็กคอม้าที่วางห่างจากระดับของเหล็กเสริมหลักตามแนวยาวไม่เกิน $\frac{d}{3}$ เข้าไว้ด้วยกันหน้าตัดวิกฤตเกิดที่ขอบของที่รองรับหรือจุดซึ่งเหล็กรับแรงดึงสิ้นสุดในช่วงนั้นๆและหรือที่จุดดัดกลับ

(2) หน่วยแรงยึดหน่วง u ที่คำนวณตามข้อ (1) จะต้องไม่เกินกำหนดที่ให้ไว้ข้างล่างนี้ ยกเว้นแรงยึดหน่วงในเหล็กรับแรงอัดหรือในเหล็กรับแรงดึงซึ่งเกิดแรงยึดหน่วงของที่ยึดมีค่าน้อยกว่า 0.8 ของค่าที่ยอมให้เท่านั้น จึงจะไม่ต้องคิดถึงหน่วยแรงยึดหน่วงอันเกิดจากแรงดัด

- สำหรับเหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A305
  - ◇เหล็กบน $\frac{2.29\sqrt{S_C}}{D}$ หรือไม่เกิน 25 กก./ตร.ซม.
  - ◇เหล็กอื่นนอกเหนือจากเหล็กบน $\frac{3.23\sqrt{S_c}}{D}$ หรือไม่เกิน 35 กก./ตร.ซม.
- สำหรับเหล็กรับแรงดึงประเภทเหล็กข้ออ้อยตามมาตรฐาน ASTM A 408
  - ◇เหล็กบน $0.556\sqrt{S_C}$
  - ◇เหล็กอื่นนอกเหนือจากเหล็กบน $0.795\sqrt{S_C}$
- สำหรับเหล็กข้ออ้อยรับแรงอัด $1.72\sqrt{S_C}$ หรือไม่เกิน 28 กก./ตร.ซม.
- สำหรับเหล็กเส้นผิวเรียบ หน่วยแรงยึดหน่วงที่ยอมให้ ให้ใช้เท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าที่ให้ไว้สำหรับเหล็กข้ออ้อย ตามมาตรฐาน ASTM A305 แต่ต้องไม่เกิน 11 กก./ตร.ซม.

6.4) แรงเฉือนและแรงดึงทแยงที่ยอมให้

(1) หน่วยแรงเฉือน

- หน่วยแรงเฉือนซึ่งใช้วัดแรงดึงทแยงในองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กให้คำนวณหาดังนี้

$$v = \frac{V}{bd}$$

ในการคำนวณออกแบบให้ถือว่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดเกิดที่ระยะ d จากขอบของที่รองรับ (ยกเว้นคานหูช้างและคานยื่นช่วงสั้นๆ) ทั้งนี้ ให้คิดรวมผลอันเกิดจากแรงบิดและผลอันเกิดจากแรงอัดตามแนวเอียงซึ่งเกิดจากแรงดัดขององค์อาคารที่มีความลึกไม่สม่ำเสมอกันเข้าไว้ด้วย

- สำหรับคานรูป I หรือ T ให้ใช้ b’ แทน b ในสมการ
- หน่วยแรงเฉือน Vc ที่เกิดขึ้นในตัวคานคอนกรีตซึ่งไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนจะต้องไม่เกิน $0.29\sqrt{S_C}$ ที่ระยะ d จากขอบของที่รองรับ

(2) เหล็กเสริมรับแรงเฉือน

- เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กลูกตั้งที่วางตั้งได้ฉากกับแกนขององค์อาคารให้หาดังนี้

$$A_V = \frac{v \times s}{f_v \times d}$$

● สำหรับเหล็กคอม้า ซึ่งประกอบด้วย เหล็กเส้นเดียวหรือหลายเส้นที่ต่างก็งอขึ้นขนานกัน โดยมีระยะห่างจากที่รองรับเท่ากัน ให้คำนวณหาเนื้อที่ดังนี้

$$A_V = \frac{v \times s}{f_V \times \sin a}$$

(3) เกณฑ์บังคับสำหรับเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

● ณ ที่ใดที่ต้องใช้เหล็กเสริมแรงเฉือนจะต้องจัดระยะเรียงของเหล็กเสริมไม่ให้ห่างกันเกิน $\frac{d}{2}$ และถ้าหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า $0.795\sqrt{S_C}$ ระยะเรียงจะต้องไม่ห่างกันเกิน $\frac{d}{4}$

● ณ ที่ใดที่ต้องใช้เหล็กรับแรงเฉือน เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมดังกล่าวจะต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อที่ bs ซึ่งหาได้จากผลคูณของความกว้างของตัวคานและระยะเรียงเหล็กเสริมรับแรงเฉือนตลอดแกนความยาวขององค์อาคาร

6.5) การเสริมเหล็กต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature steel)

นอกจากอาคารขนาดเล็กๆ ข้อกำหนดดังต่อไปนี้ จะใช้สำหรับหาขนาดเหล็กเสริมเพื่อต้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์ที่ระบุจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (ยกเว้น พอกมุม) ของคอนกรีตที่จะต้องเสริมเหล็ก แต่ถ้าความหนาของพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตมากกว่า 40 เซนติเมตร จะคิดพื้นที่หน้าตัดที่เสริมเหล็กจากความหนาเพียง 40 เซนติเมตร เท่านั้น

หน้าตัดเหล็กเสริม, Ast = 0.0025bt

● เมื่อเสริมเหล็กชั้นเดียวใช้ เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร .@ 0.30 เมตร ต่ำสุด

● เหล็กเสริมชั้นเดียวที่อยู่กลางแจ้ง

◇ คอนกรีตที่มีรอยต่อห่างไม่เกิน 10 เมตร ให้เสริมเหล็ก 0.30% ของหน้าตัดคอนกรีต

◇ คอนกรีตที่มีรอยต่อห่างเกิน 10 เมตร ให้เสริมเหล็ก 0.40% ของหน้าตัดคอนกรีตเหล็กเสริม

● เหล็กเสริม 2 ชั้นที่อยู่กลางแจ้ง

◇ ด้านที่ไม่ติดกับดิน ระยะรอยต่อห่างไม่เกิน 10 เมตร ใช้เสริมเหล็ก 0.20% ของหน้าตัดคอนกรีต

◇ ด้านที่ติดดิน ระยะรอยต่อห่างไม่เกิน 10 เมตร ใช้เสริมเหล็ก 0.10% ของหน้าตัดคอนกรีต

6.6) การงอเหล็กเสริม (Hook and Bend of Reinforcement Bars)

● **มาตรฐานการงอ** ในมาตรฐานการงอจะใช้ข้อกำหนดดังต่อไปนี้

◇ การงอครึ่งวงกลม ส่วนที่เหลือจากการงอจะต้องไม่น้อยกว่า 4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม และปลายที่เหลือต้องไม่น้อยกว่า 6.5 เซนติเมตร

◇ การงอ 90 องศา ส่วนที่เหลือจากการงอจะต้องไม่น้อยกว่า 12 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริม

◇ สำหรับเหล็กลูกตั้ง (Stirrup) และเหล็กปลอกเท่านั้น การงอ 90 องศา และการงอ 135 องศา ส่วนที่เหลือจากการงอจะต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6.5 เซนติเมตร

● **รัศมีของการงอ** รัศมีของการงอมาตรฐาน (วัดด้านในของการงอ) จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ในตารางข้างล่าง ยกเว้นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 34 มิลลิเมตร แต่สำหรับเหล็ก Structural Grade และ Intermediate Grade เท่านั้น รัศมีการงอน้อยที่สุดจะเท่ากับ 2.5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง

การงอเหล็ก

เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริม	รัศมีการงอ
9, 10, 12, 15	2.5d
16, 19, 20, 22, 25	3.0d
28	4.0d

● **การงอนอกเหนือจากมาตรฐาน** การงอเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก จะต้องมีรัศมีการงอด้านในไม่น้อยกว่าหนึ่งเท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง การงอสำหรับเหล็กเสริมอื่นๆ จะต้องมีรัศมีการงอ ด้านในไม่น้อยกว่าค่าที่ระบุไว้ เมื่อการงอเหล็กจะทำให้เกิดความเค้นสูงที่จุดงอ ดังนั้นรัศมีของการงอจะต้องให้กว้างพอเพื่อป้องกันการแตกหักของคอนกรีต การงอทุกชนิดจะต้องทำแบบการดัดเย็น

7) การออกแบบกำแพงกันดิน

กำแพงยื่นจะต้องมีความหนาที่ฐานอย่างน้อยเท่ากับ 20 ซม. สัดส่วนของความหนาจริงของโคนกำแพงแบบนี้จะเพิ่มขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมทุกๆ 1 เมตร ให้เพิ่มขึ้น 10 ซม. กำแพงยื่นนิยมใช้กับความสูงไม่เกิน 6 ม. ความสูงเกิน 6 ม. อาจออกแบบให้เป็น Counterfort แทนเพื่อให้โครงสร้างแข็งแรงและไม่ต้องเสริมเหล็กหลายชั้น ความกว้างฐานของกำแพงกันดินแบบ Counterfort จะมีสัดส่วนประมาณ 0.6-0.7 เท่าของความสูงของกำแพง ความหนาของฐานคอนกรีตและความหนาของโคนกำแพงจะมีค่าประมาณ 1/12 เท่าของความสูงกำแพง ความหนาของตัว Counterfort และการจัดระยะห่างของตัว Counterfort ขึ้นอยู่กับการทดลองจัดระยะดู สัดส่วนต่างๆที่ควรจะเป็นจะต้องผ่านการตรวจสอบความมั่นคง และผ่านค่าหน่วยแรงที่กำหนดไว้ด้วย

8) การออกแบบกำแพงฐานรากใต้ดิน

กำแพงล่างทำไว้เพื่อลดการไหลซึมของน้ำลอดใต้อาคาร และเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของอาคารและทำให้ Transition มีความแข็งแรงมากขึ้น กำแพงล่างจะอยู่บริเวณปลายสุดของ Transition ของอาคารชลศาสตร์ กำแพงล่างที่ออกแบบเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปจะมีขนาดและสัดส่วนตามตารางเป็นอย่างน้อย

ขนาดและสัดส่วนของกำแพงฐานรากใต้ดิน

ความลึกของน้ำ (ม.)	ความลึกของกำแพงล่าง (ม.)	ความหนาของกำแพงล่าง (ม.)
0.00 – 1.00	0.60	0.15
1.01 – 2.00	0.75	0.20
2.01 – 3.00	1.50	0.40
3.01 – 4.00	2.00	0.50

ในกรณีที่ออกแบบกำแพงล่างเป็นเข็มพืด (Steel sheet Pile) จะต้องคำนึงถึงลักษณะของดินฐานราก ความแข็งแรงของเข็มเหล็ก การตอกเข็มเหล็ก อายุการใช้งาน การป้องกันการสึกกร่อน รวมทั้งคำนึงถึงแรงต่างๆที่กระทำต่อเข็มเหล็กด้วย

9) การออกแบบรอยต่อของอาคารคอนกรีตในอาคาร (Joints in Structures)

อาคารคอนกรีตที่มีความยาวมากๆ หรือเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่หรืออาคารที่มีช่วงตอนต่างๆ อาจเกิดการทรุดตัว (Settlement) หรือเกิดการแอ่นตัว (Deflection) ที่ไม่เท่ากัน จำเป็นต้องกำหนดให้มีรอยต่อเป็นช่วงเป็นตอนตามความจำเป็นและเหมาะสม ซึ่งชนิดของรอยต่อดังกล่าวอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

(1) รอยต่อเพื่อการก่อสร้าง (Construction joints) การกำหนดรอยต่อชนิดนี้ จึงขึ้นอยู่กับปริมาณคอนกรีตที่จะใช้เทในแต่ละช่วงตอนของรอยต่อที่สามารถเทได้ในระยะเวลาที่ไม่เกินระยะเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต และควรกำหนดให้รอยต่ออยู่ตรงตำแหน่งที่โมเมนต์มีค่าน้อยที่สุด นอกจากนี้เหล็กเสริมคอนกรีตในช่วงที่ผ่านรอยต่อจะต้องวางต่อเนื่องกันไป (ไม่ตัดขาดออกจากกัน)

(2) รอยต่อเพื่อรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Expansion and Contraction Joints)

สำหรับในงานชลประทานนั้น กำหนดให้ใช้ระยะห่างระหว่างรอยต่อแต่ละช่วงไม่เกิน 10 เมตร (เนื่องจากความยาวของเหล็กเส้นในท้องตลาดยาว 10 เมตร จึงสะดวกที่ไม่ต้องตัดเหล็ก) และเหมาะสมกับระยะห่างของคอนกรีตตรงรอยต่อ 1 เซนติเมตร และรอยต่อชนิดนี้แตกต่างจากรอยต่อเพื่อการก่อสร้างตรงที่เหล็กเสริมตรงรอยต่อจะต้องตัดขาดออกจากกัน

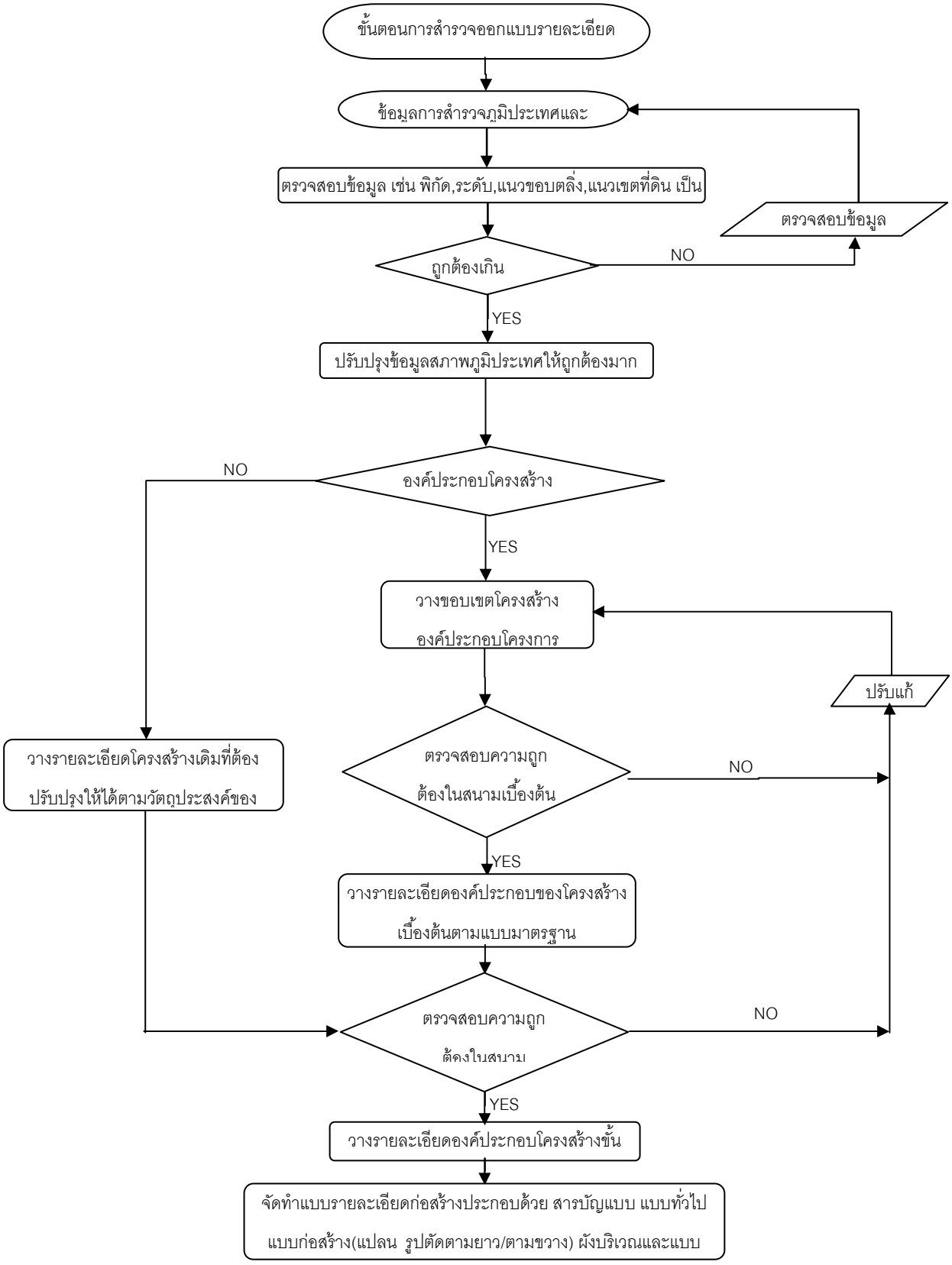
(3 การพอกมุม (Fillets) การพอกมุมมีประโยชน์ในป้องกันการเพิ่มของ Strength หรือช่วยลดความเครียด (stress) ณ จุดที่เกิดความเครียดสูงสุด ขนาดของการพอกมุมจะวัดจากภายในของโครงสร้างและการพอกมุมที่ฐานรากกำแพงยืนจะแสดงในตาราง

ขนาดของการพอกมุม

ขนาดการพอกมุม (ซม.)	ความสูงของกำแพงหรือกำแพงยื่น (ม.)
5.0 x 5.0	-
7.5 x 7.5	0.00 – 2.50
10.0 x 10.0	2.50 – 3.00
15.0 x 15.0	มากกว่า 3.00

(พอกมุมอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้ ถ้าเป็นผลเสียในการออกแบบอาคาร)

10) แนวคิดการออกแบบองค์ประกอบโครงการ



3.3 การออกแบบฝายน้ำล้น(Weir)

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

ฝายน้ำล้นคือ อาคารที่ทำหน้าที่เก็บกักและผันน้ำเข้าพื้นที่รับประโยชน์ สามารถระบายน้ำส่วนเกินให้ล้นข้ามสันฝายลงไปยังท้ายน้ำได้ โดยทั่วไปการออกแบบฝายน้ำล้นจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำที่สุดและที่สำคัญ คือ ต้องสามารถระบายน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบได้อย่างปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวอาคาร ในการออกแบบฝายน้ำล้นจะพิจารณาถึงรูปร่างการใช้งาน ตำแหน่งที่ตั้งที่ให้ความปลอดภัยต่อตัวอาคารในทุกกรณี ทั้งในระหว่างก่อสร้างและภายหลังก่อสร้างแล้วเสร็จและใช้งาน

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการเลือกที่ตั้งหรือประยุกต์ใช้ฝายน้ำล้นมีดังนี้

(1) ควรมีความเหมาะสมทางด้านชลศาสตร์ เพื่อลดผลกระทบด้านการก่อสร้างหรือการใช้ประโยชน์ที่จะมีต่อไป

(2) จะต้องสามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(3) การก่อสร้างอาคารทางน้ำล้นผ่านถนน(Wet Crossing) เพื่อประหยัดค่าก่อสร้างและสามารถใช้เป็นทางสัญจรได้ด้วย ต้องพิจารณาความเหมาะสมเพิ่มเติมดังนี้

- สภาพภูมิประเทศควรเป็นที่ราบหรือลาดเทเล็กน้อย เป็นลำน้ำเล็กๆและตื้น มีความมั่นคง มีน้ำหลากไหลบ่าเป็นครั้งคราว เกิดขึ้นไม่นาน
- ลักษณะชั้นดินบริเวณที่ก่อสร้าง ควรเป็นดินที่มีความมั่นคงแข็งแรงและสามารถต้านทานการกัดเซาะของกระแสน้ำได้ดี เช่น ดินเหนียว ดินเหนียวปนกรวด กรวดหยาบและลูกรัง เป็นต้น ไม่ควรเป็นดินที่น้ำกัดเซาะง่าย เช่น ทรายและตะกอนทรายละเอียด เป็นต้น

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถระบายปริมาณน้ำนองสูงสุดจากการออกแบบทางด้านอุทกวิทยาที่ระดับที่กำหนดไว้

(2) ชนิดของฝายน้ำล้นจะต้องเหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ และส่วนของอาคารต้องมีน้ำหนักเพียงพอที่จะสามารถต้านการลอยตัวเนื่องจากแรงยกของน้ำ (Uplift Pressure)

(3) แนวที่กำหนดควรพิจารณาให้มีระยะความยาวของอาคารสั้นสุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อประหยัดค่าก่อสร้าง

(4) ควรปรับปรุงโดยขยายความกว้างลำน้ำด้านเหนือหินเรียงของฝายให้เป็นบ่อรับน้ำเพื่อเพิ่มปริมาตรน้ำเก็บกักและรองรับตะกอนที่ตก(Retarding Basin or Sediment Trap) ทำให้สะดวกในการขุดลอกเฉพาะกองทรายที่สูงกว่าพื้นฝาย/ท้องลำน้ำ โดยไม่กระทบต่อตัวฝาย

(5) ต้องกำหนดรูปแบบของอาคารสลายพลังงาน (Stilling Basin)ที่เหมาะสมกับสภาพการไหลและภูมิประเทศ

(6) ออกแบบป้องกันการกัดเซาะจากการไหลปั่นป่วนของกระแสน้ำบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างอาคารสลายพลังงานและลำน้ำเดิม

(7) ออกแบบความแข็งแรงทนทานของอาคารให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยคำนึงถึงการใช้วัสดุในท้องถิ่นที่สามารถประหยัดค่าก่อสร้างได้มากที่สุด

(8) ระดับสันทางน้ำล้นผ่านถนนของ Wet Crossing ไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำต่ำสุดของลำน้ำเกิน 2.00 ม. เพื่อไม่ให้น้ำไหลแรงเกินไป จนกัดเซาะพื้นลำน้ำด้านท้ายน้ำจนเสียหาย

(9) ระดับน้ำสูงสุดออกแบบของ Wet Crossing ไม่ควรสูงกว่าระดับสันทางน้ำล้นผ่านถนนเกิน 1.20 ม.

(10) กรณีที่ต้องการระบายน้ำให้ต่ำกว่าสัน Wet Crossing ให้เพิ่มท่อลอดคันทางและป้องกันการกัดเซาะที่บริเวณปลายท่อด้านท้ายน้ำโดยใช้หินเรียง ขนาดของหินเรียงต้องใช้ให้สอดคล้องกับความเร็วกระแสน้ำไหลออกจากท่อ ที่ปลายท่อด้านเหนือน้ำควรทำร่องไว้ใส่บานประตู เพื่อปิดปากท่อเมื่อต้องการเก็บน้ำและเปิดบานประตูเมื่อต้องการระบายน้ำ

4) การออกแบบทางด้านชลศาสตร์(Hydraulic Design)

4.1) การออกแบบฝายน้ำล้นแบบสันมน(Ogee Weir)

ฝายน้ำล้นชนิด Ogee ตัวอาคารประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

- สันฝายน้ำล้น (Overflow Crest of Weir)
- ส่วนระบายน้ำหรือร่องรับน้ำ (Trough)ที่วางเอียงเชื่อมต่อกับส่วนลดพลังงานท้ายน้ำ (Terminal Structure) ทำหน้าที่ระบายน้ำไปยังลำน้ำเดิมท้ายฝายโดยผ่าน Terminal Structure
- ส่วนลดพลังงานท้ายน้ำ (Terminal Structure) โดยทั่วไปจะมีหลายชนิด ตามแบบมาตรฐานของ U.S.B.R Stilling Basin

(1) การออกแบบสันฝายน้ำล้น(Overflow Crest of Weir)

ลักษณะอาคารจะมีรูปร่างแบบ Ogee Weir ซึ่งมีความยาวเพียงพอที่จะระบายน้ำหลากสูงสุดที่ออกแบบ ซึ่งสามารถคำนวณความยาวของสันฝายน้ำล้นได้ดังนี้

$$Q = 0.5522 C_0 L H_e^{\frac{3}{2}}$$

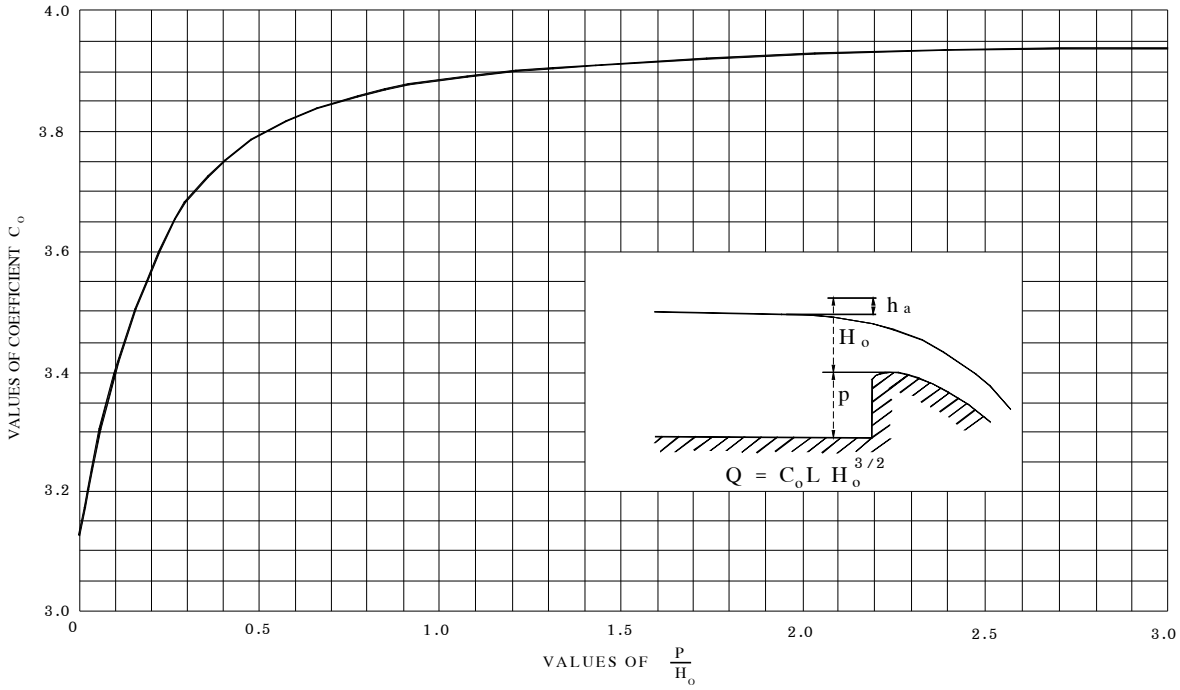
เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านฝายน้ำล้น, ลบ.ม./วินาที

C_0 = ค่าสัมประสิทธิ์การระบายข้ามสันฝายแบบ Ogee

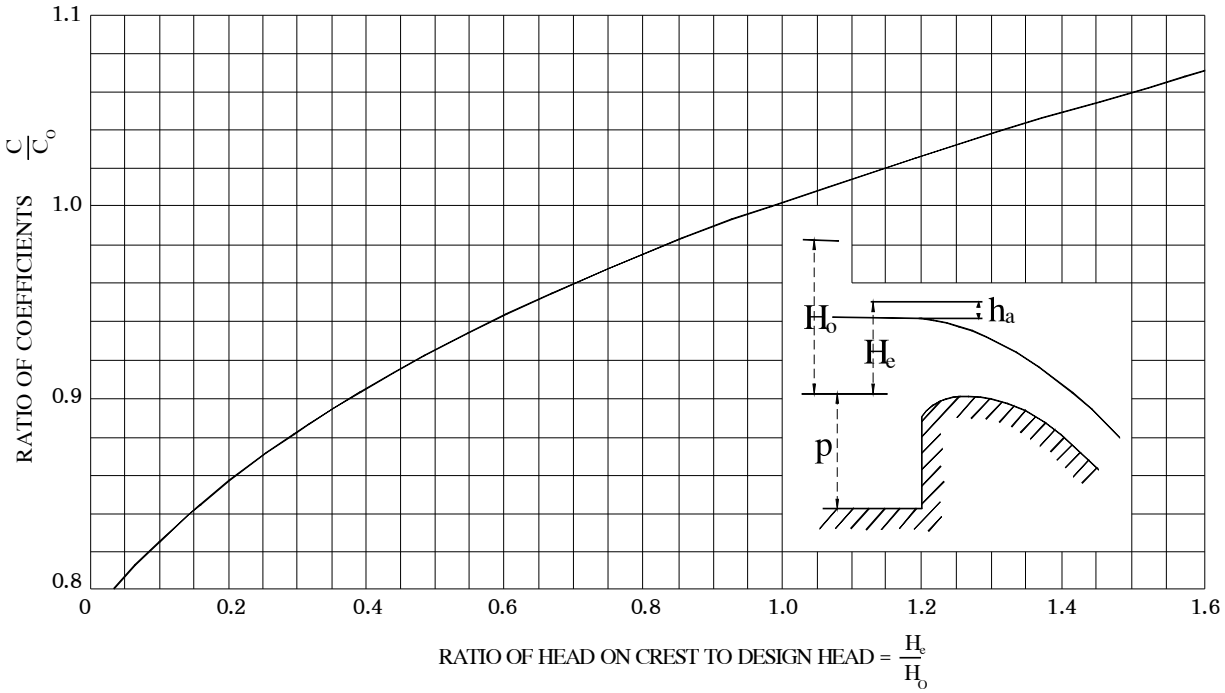
L = ความยาวสันฝาย, ม.

H_e = Total Head, ม.

ค่าสัมประสิทธิ์ C_0 จะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนระหว่าง $\frac{P}{H_e}$ เมื่อ P คือความสูงของตัวฝายจากพื้นทางน้ำเข้า ดังรูปจาก Design of Small Dams



Discharge Coefficient for Vertical – faced Ogee Crest



Coefficient of Discharge for Other than the Design Head

(1.1) รูปร่างของ Ogee Weir กำหนดตามรูปมาตรฐานข้างล่าง ซึ่งสามารถคำนวณรูปร่างของ Ogee Crest จากสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{y}{H_0} = -k\left(\frac{x}{H_0}\right)^n$$

เมื่อ y = ระยะ co-ordinate ตามแกน y, ม.

X = ระยะ co-ordinate ตามแกน x, ม.

H_0 = Total Design Head,เมตร

K และ n = สัมประสิทธิ์สัมพันธ์กับ $\frac{h_0}{H_0}$

h_0 = ระดับน้ำเหนือฝาย

ด้านท้ายฝายจะเป็นร่องรับน้ำ (Trough) ที่มีแนวตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางสันฝาย ทำหน้าที่สลายพลังงานที่ไหลข้ามฝายลงมาให้เหลือเพียงพอที่จะเพิ่มความเร็วในร่องน้ำให้ไหลไปทางท้ายน้ำได้ โดยมีฝายรูป Ogee Crest วางตัวอยู่ด้านเหนือน้ำ ระดับสันฝายอยู่ที่ระดับเก็บกัก และมีรูปร่างหน้าตัดการไหลของน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้างของรางระบายน้ำจะปรับลดลงตามระยะห่างจากตัวฝายเท่ากับรูปร่างของ Control Section การไหลของน้ำใน Trough กำหนดให้เป็นลักษณะ Subcritical Flow มีปริมาณคงที่

การคำนวณความเร็วและระดับน้ำที่จุดต่างๆ ตลอดความยาว Trough จะใช้เกณฑ์ของสมดุลพลังงาน (Conservation of Energy) ตาม Bernoulli's Theory (Design of Small Dam, 1987 หน้า 383) ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta Z + d_1 + hv_1 = d_2 + hv_2 + \Delta h_L$$

เมื่อ ΔZ = ผลต่างของพื้นที่ระหว่างจุดที่ 1 และ 2, ม .

d_1, d_2 = ความลึกของน้ำในแนวดิ่งที่จุด 1และ 2 ตามลำดับ, ม.

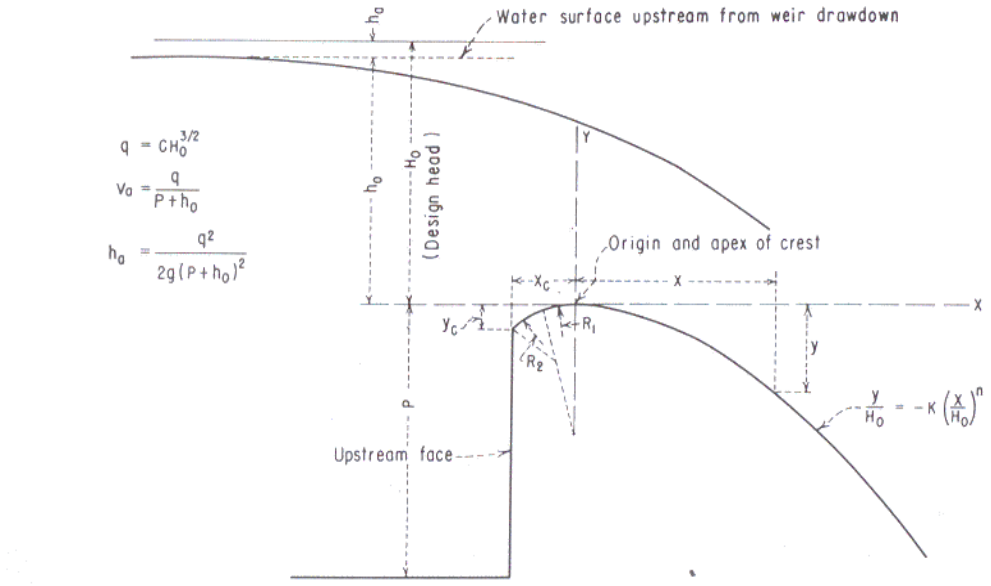
hv_1, hv_2 = $\frac{v_1^2}{2g}$ และ $\frac{v_2^2}{2g}$ ตามลำดับ, ม.

Δh_L = Friction Loss ระหว่างจุดที่ 1 และ 2, ม.

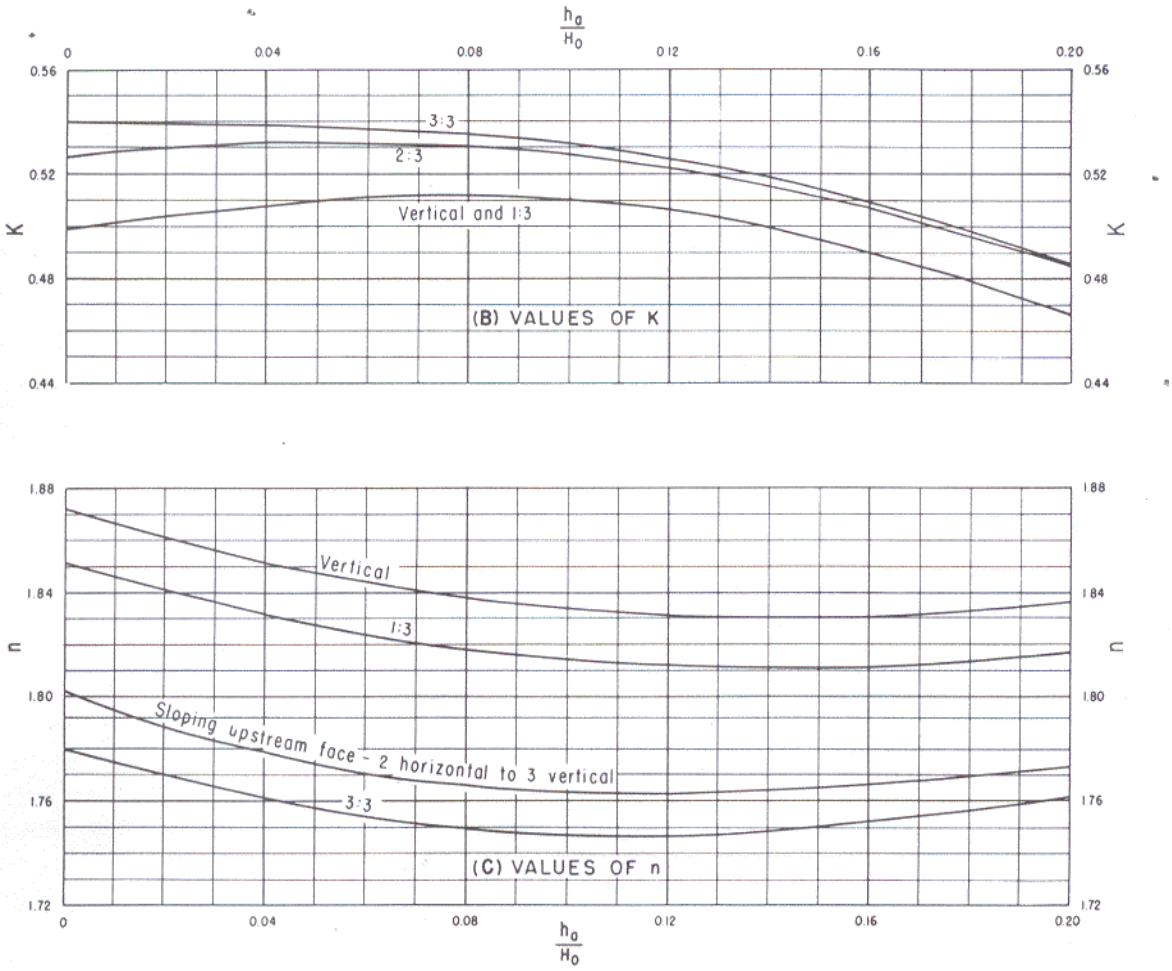
v_1, v_2 = ความเร็วน้ำที่จุดที่ 1 และ 2, ม./วินาที

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

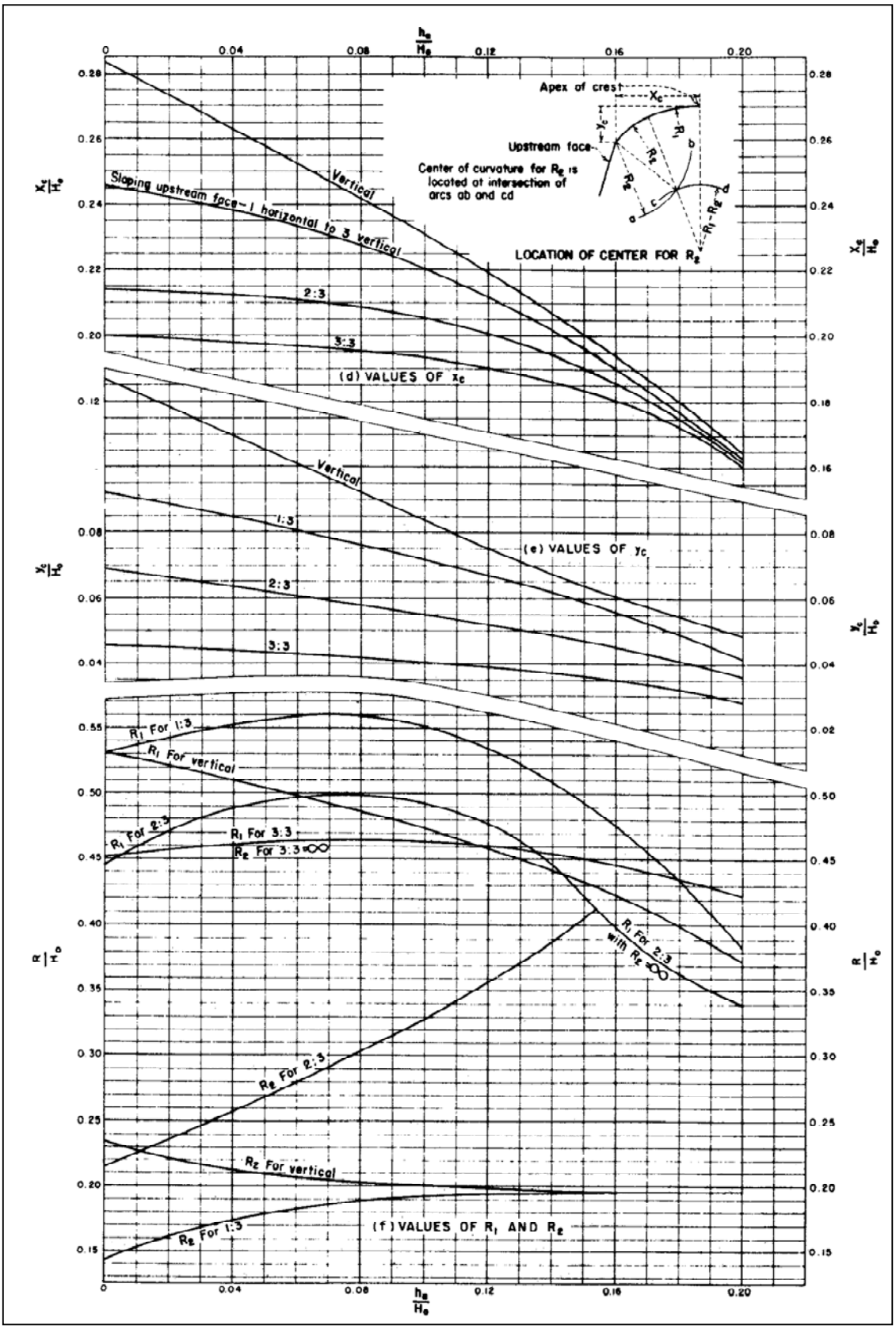
โดยรวมให้ระดับน้ำใน Trough สูงกว่าระดับสันฝายได้ไม่มากกว่า 30 เปอร์เซนต์ของระดับน้ำเหนือสันฝาย (Flood Surcharge)



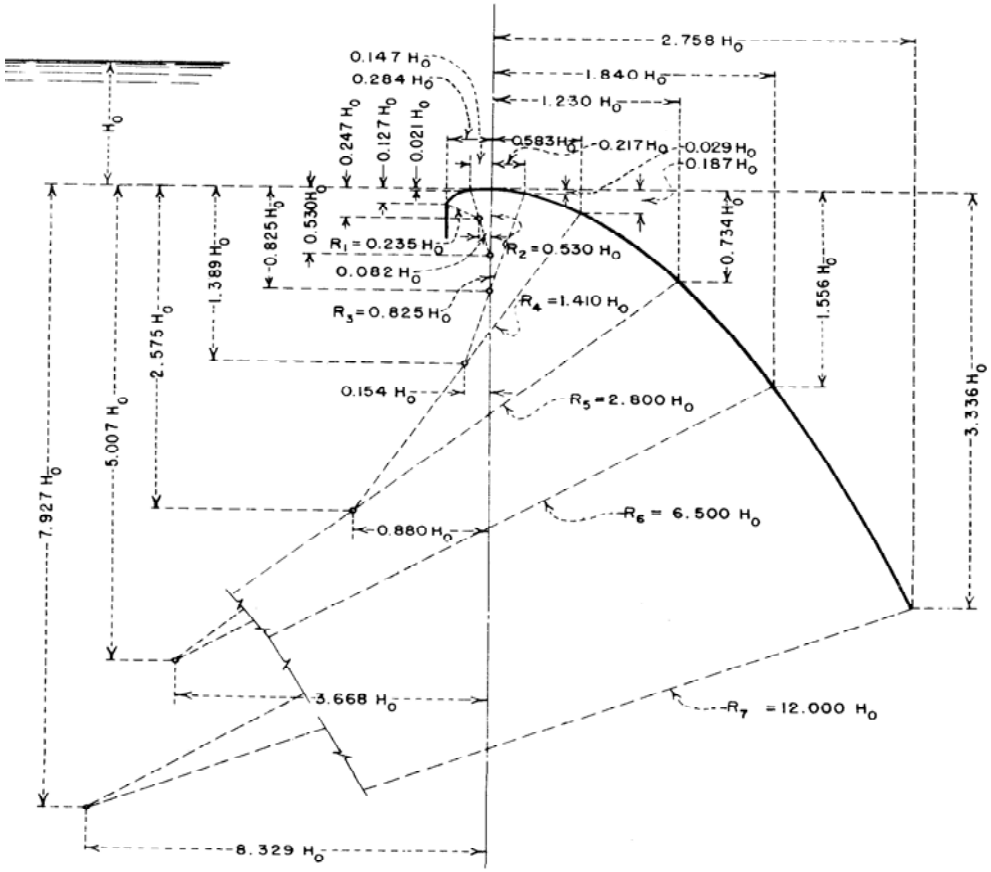
(A) ELEMENTS OF NAPPE-SHAPED CREST PROFILES



การออกแบบโค้งสันฝาย เมื่อ P < 0.5 H_o (แผ่นที่ 1/2)



การออกแบบโค้งสันฝาย เมื่อ P < 0.5 H_o (แผ่นที่ 2/2)



การออกแบบโค้งสันฝาย เมื่อ P ≥ 0.5 H_o

(1.2) ความยาวสันฝายน้ำล้น (Effective Length of Weir) ความยาวสันฝายน้ำล้นที่ใช้ในการออกแบบจะถูกลดความยาวลงเนื่องจากตอม่อ(Pier) ซึ่งใช้สูตรในการออกแบบ USBR., " Design of Small Dam " หาความยาวใช้งานของสันฝายน้ำล้นได้ดังนี้

$$L_1 = L_2 - 2(NK_p + K_a)H_e$$

เมื่อ L_1 = ความยาวประสิทธิ์ผลของสันฝายน้ำล้นเนื่องจากตอม่อ

L_2 = ความยาวทั้งหมดของสันฝายน้ำล้นซึ่งยังไม่รวมความหนาของตอม่อต่างๆ

N = จำนวนตอม่อกลาง (Pier)

K_p = สปส.การคอดตัวเนื่องจากตอม่อ

K_a = สปส.การคอดตัวเนื่องจากกำแพงริมตลิ่ง

H_e = ความสูงของน้ำเหนือสันฝายน้ำล้น (Total Head)

ค่า K_P มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของตอม่อ คือ

- รูปร่างและระยะตอม่อ
- ความหนาของตอม่อ
- Head ที่ใช้ออกแบบ

- ความเร็วการไหลของกระแสน้ำในร่องชักน้ำ

ค่า K_P จากตอม่อรูปร่างต่างๆ ประมาณได้ดังนี้

- หัวตอม่อเป็นสี่เหลี่ยมลบมุมด้วยรัศมี 0.1 ของความหนาของตอม่อ K_P = 0.02
- หัวตอม่อเป็นรูปโค้งมน K_P = 0.01
- หัวตอม่อแหลม K_P = 0.00
- หัวตอม่อสี่เหลี่ยมไม่ลบมุม K_P = 0.10

ค่า K_a ของตอม่อกำแพงริมตลิ่งรูปร่างต่างๆ มีดังนี้

- กำแพงหน้าทำมุมฉากกับทิศทางการไหล K_a = 0.20
- ทำมุมฉากแต่ลบมุมโค้ง รัศมีไม่น้อยกว่า $0.15H_0$, K_a = 0.10 และไม่มากกว่า $0.50H_0$ (หรือ $0.15H_0 \le r \le 0.50H_0$)
- มุมตอม่อโค้งมนด้วยรัศมีมากกว่า $0.50H_0$, $r > 0.50H_0$), K_a = 0.00

และกำแพงหน้าทำมุมเฉียงกับทิศทางน้ำไหลไม่มากกว่า 45 องศา

(2) การออกแบบพื้นฝาย พื้นฝายบริเวณด้านเหนือน้ำจะทำหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะของน้ำและเพิ่มระยะทางการซึมของน้ำลอดใต้ฝาย ความหนาของพื้นฝายด้านเหนือน้ำควรมีความหนาพอเพียงให้สามารถเสริมเหล็กและทำงานได้สะดวก โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 20 เซนติเมตร พื้นฝายบริเวณด้านท้ายน้ำ นอกจากจะป้องกันการกัดเซาะของน้ำและเพิ่มระยะทางการซึมของน้ำลอดใต้ฝายแล้ว ยังต้องต้านทานแรงดันน้ำใต้พื้นฝายด้วย ดังนั้นการออกแบบพื้นฝายด้านท้ายน้ำจะต้องมีความหนาและน้ำหนักเพียงพอที่จะต้านแรงดันของน้ำใต้ฝายได้ด้วย

(3) การออกแบบอาคารสลายพลังงาน(Energy Dissipater) อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure) เป็นอาคารที่ออกแบบเพื่อสลายพลังงานหรือลดความเร็วของกระแสน้ำก่อนที่จะระบายไปด้านท้ายฝาย เป็นการป้องกันการกัดเซาะต่อทางน้ำท้ายอาคาร ตามแบบมาตรฐานของ U.S.B.R. Stilling Basin(Engineering Monograph No.25)

สูตรของ Hydraulic Jump ในอ่างน้ำนิ่งรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า มีดังนี้

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{1}{2}\left[(1 + 8F_1^{\,2})^{\frac{1}{2}} - 1\right]$$

ในเมื่อ D_1 = ความลึกของน้ำก่อนเกิด Jump, ม.

D_2 = ความลึกของน้ำหลังเกิด Jump, ม.

F_1 = ค่า Froude number = $\frac{V_1}{\sqrt{g.D_1}}$

V_1 = ความเร็วของน้ำก่อนเกิด Jump, ม.

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง = 9.81 ม./วินาที^{2}

Min. Freeboard = $0.1(V_1 + D_2)$, เมตร

ความยาวของอาคารสลายพลังงานจะสัมพันธ์กับค่า Froude Number และความลึกของ Jump ดังรูปโดยค่า Minimum Tail Water Depths ในกราฟเป็นค่าในห้องปฏิบัติการ นำมาใช้ในการออกแบบไม่ได้ ต้องสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับกับปริมาณน้ำ(Rating Curve)ของทางน้ำท้ายฝายน้ำล้นหรืออาคารชลศาสตร์

(4) การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับกับปริมาณน้ำ(Rating Curve)ของทางน้ำท้ายฝายน้ำล้น ผู้ออกแบบต้องวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับกับปริมาณน้ำของทางน้ำท้ายฝาย ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีการสมการแมนนิ่ง และวิธีการ Slope Area เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบค่าระดับน้ำหลังเกิด Hydraulic Jump กับค่าระดับน้ำในทางน้ำท้าย Stilling Basin(จาก Rating Curve) ที่ปริมาณน้ำประมาณ 20% - 100% ของปริมาณน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบ โดยค่าระดับน้ำในทางน้ำท้าย Stilling Basin นั้นต้องสูงกว่าค่าระดับน้ำหลังเกิด Hydraulic Jump อย่างน้อย 5-10%

(5) การออกแบบ Cutoff Wall & Obstruction Wall

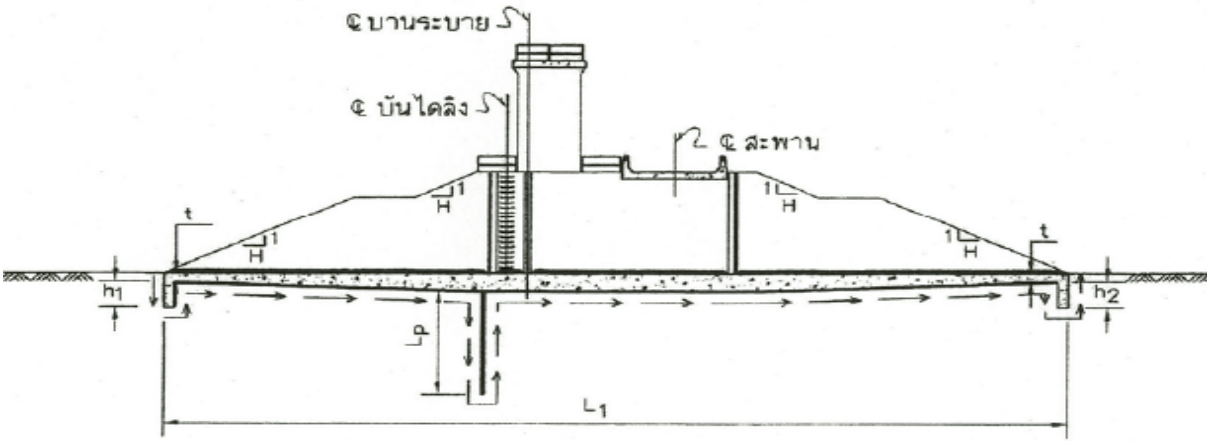
- การคำนวณค่า Weighted Creep Ratio สามารถใช้วิธีของ Lane ใน “ U.S.B.R. Design of Small Dam” ดังนี้

◊ ความยาวของทางเดินน้ำใต้อาคาร

Cutoff Wall จะฝังลึกลงใต้พื้นฝาย เพื่อขวางการซึมของน้ำลอดใต้พื้นฝายและป้องกันการพัดพาเอาเม็ดดินใต้ฐานรากหลุดไหลไปกับน้ำได้ ความลึกของ Cutoff Wall จะต้องลึกพอที่จะทำให้ค่า Weighted Creep Ratio มีค่าตามเกณฑ์ที่กำหนดและเพื่อป้องกันน้ำซึมลัดผ่านชั้นดินโดยตรง(Short Path) ต้องกำหนดให้ Cutoff Wall ห่างกันไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของความลึกของ Cutoff Wall

Weighted Creep Ratio = Total Weighted Length of Path / Difference Head

โดย Weighted Length of Path ในแนวดิ่งใช้เท่ากับระยะจริงส่วนในแนวราบใช้เพียง 1/3 ของระยะจริง



ความยาวของทางเดินน้ำใต้อาคาร

Weighted Creep Distance = $L_1/3 + 2L_P + 2h_1 + 2h_2 + 2t$

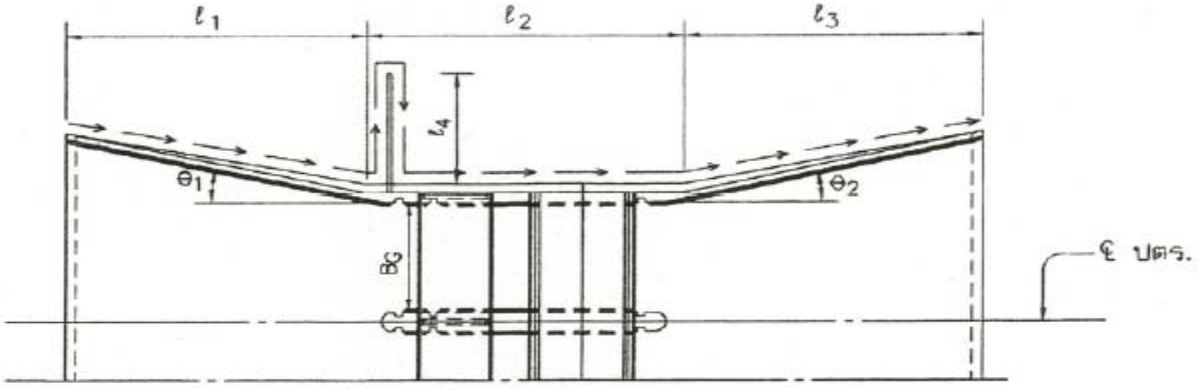
Weighted Creep Ratio $\geq \{L_1/3 + 2L_P + 2h_1 + 2h_2 + 2t\}/H$

เมื่อ t = ความหนาของพื้น, ม.
L_1 = ความยาวของแผ่นพื้นทึบน้ำ, ม.
L_P = ความยาวของเข็มพืด, ม.
H = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ, ม.

◊ ความยาวของทางเดินน้ำข้างอาคาร

Cutoff Wall จะฝังลึกเข้าไปข้างหูฝาย เพื่อขวางการซึมของน้ำลอดข้างฝายและป้องกันการพัดพาเอาเม็ดดินข้างฝายหลุดไหลไปกับน้ำได้ ความกว้างของ Cutoff Wall จะต้องกว้างพอที่จะทำให้ค่า Weighted Creep Ratio มีค่าตามเกณฑ์ที่กำหนดและเพื่อป้องกันน้ำซึมลัดผ่านดินด้านข้างโดยตรง (Short Path) ต้องกำหนดให้ Cutoff Wall ห่างกันไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของความกว้างของ Cutoff Wall

Weighted Creep Ratio = Total Weighted Length of Path / Difference Head
โดย Weighted Length of Path ใช้เท่ากับระยะจริง



ความยาวของทางเดินน้ำข้างอาคาร

Weighted Creep Distance $= l_1/\cos\theta_1 + 2l_4 + l_2 + l_3/\cos\theta_2$

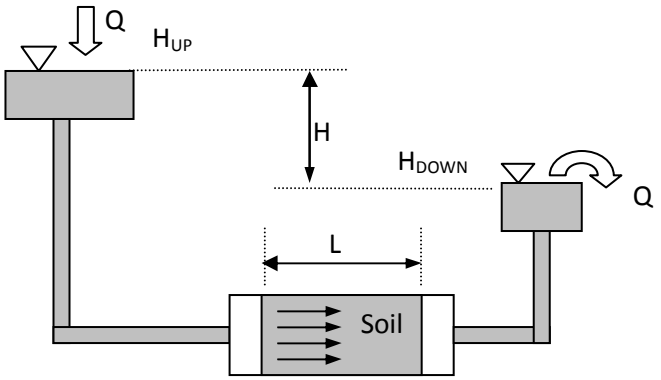
Weighted Creep Ratio $\geq \{l_1/\cos\theta_1 + 2l_4 + l_2 + l_3/\cos\theta_2\}/H$

ค่า Lane's Weighted Creep Ratio สำหรับดินประเภทต่างๆ ที่อยู่บริเวณใต้ฝายน้ำล้น

Base Material	**Lane's Weighted Creep Ratio (Cw)**
Very Fine Sand of Silt(ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน)	8.5
Fine Sand (ทรายละเอียด)	7.0
Medium Sand (ทรายหยาบปานกลาง)	6.0
Coarse Sand (ทราบหยาบ)	5.0
Fine Gravel (กรวดละเอียด)	4.0
Medium Gravel (กรวดหยาบปานกลาง)	3.5
Coarse Gravel Including Cobbles (กรวดหยาบ)	3.0
Boulders with some Cobbles and Gravel (หินใหญ่มีกรวดแทรกอยู่)	2.5
Soft Clay (ดินเหนียวอ่อน)	3.0

Medium Clay (ดินเหนียวแข็งปานกลาง)	2.0
Hard Clay (ดินเหนียวแข็ง)	1.8
Very Hard Clay or Hardpan (ดินเหนียวแข็งมากหรือดินดาน)	1.6

● การคำนวณหาปริมาณน้ำไหลซึมผ่านใต้อาคารและ Safe Exit Gradient สามารถใช้วิธีตาข่ายการไหลของน้ำ(Flow Nets) จากทฤษฎีพื้นฐานการไหลของน้ำผ่านดินหรือ “Darcy’s law” ที่สรุปว่าความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านตัวกลางพรุนแบบ Laminar จะเป็นสัดส่วนกับความลาดชันชลศาสตร์หรือ “Hydraulic gradient”



การไหลซึมของน้ำในแนวเดียวผ่านแท่งดิน

จากกฎของดาซี่ ถ้าให้ v = ความเร็วของการไหลซึมของน้ำ

I = ความลาดของระดับน้ำ (hydraulic gradient) = $\frac{\Delta H}{L}$

ΔH = ความต่างศักย์ระหว่างเหนือน้ำและท้ายน้ำ

L = ความยาวของแท่งดินในแนวน้ำไหล

ดังนั้น $v \alpha i$

หรือ $v = ki$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ซึ่งแสดงคุณสมบัติของดินที่ให้น้ำไหลผ่านเรียกว่า Hydraulic conductivity หรือ Permeability หรือเรียกว่า “ค่าความซึมน้ำ” มักใช้หน่วยเป็น ซม.ต่อวินาที (cm/sec.)

จากสมการข้างบนถ้าพิจารณาพื้นที่หน้าตัดของแท่งดินเท่ากับ A เพราะฉะนั้นปริมาณการไหลต่อเวลาจะเป็น

$$q = v.A = kiA$$

หรือกรณีที่มีการพิจารณาเฉพาะช่วงเล็ก ๆ ที่มีความยาว *dL* ปริมาณน้ำจะเป็น

$$q = k\frac{dh}{dL}.A$$

เมื่อ $\frac{dh}{dL}$ เป็นความชันของเส้นศักย์น้ำหรือเส้นผิวน้ำ ณ ตำแหน่งที่พิจารณา

ศักย์ของน้ำ (Hydraulic Heads) หมายถึงผลรวมถึงความต่างของทั้งระดับน้ำและความดันน้ำ ณ จุดที่พิจารณาความต่างศักย์ของน้ำที่ทำให้เกิดมีการไหลของน้ำผ่านดิน

$$\Delta h = H_{Up} - H_{DOWN}$$

และอัตราการเปลี่ยนแปลงของศักย์รวมต่อระยะการไหล เรียกว่า “Hydraulic gradient” หรือ ความลาดชลศาสตร์ ซึ่งเท่ากับ

$$i = \frac{\Delta h}{L} < i_s$$

แรงดันใต้ฐานรากเฉลี่ย (Average Seepage Pressure per Unit Volume)

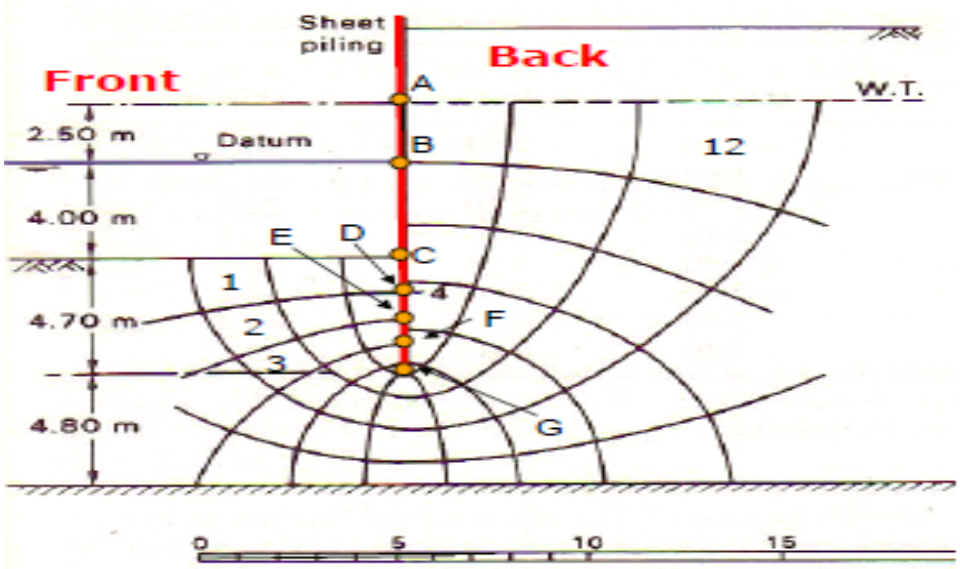
$$P_s = i\gamma_w$$

Safe exit gradient for different types of soils

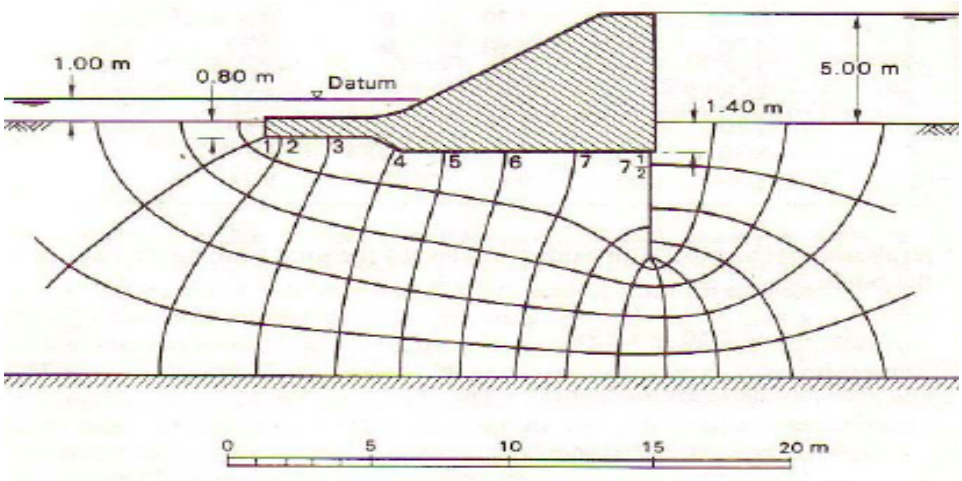
Type of material	Safe exit gradient i_s
Shingle	1/4 – 1/5
Coarse sand	1/5 - 1/6
Fine sand	1/6 - 1/7

ตาข่ายการไหลของน้ำหรือ Flow nets เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำซึมผ่านดินที่มีการไหลเป็นแบบ 2 มิติ และเป็นการไหลแบบ Steady State โดยสามารถเขียน Flow nets แสดงทางเดินของน้ำผ่านวัสดุใต้อาคาร ประกอบด้วย Flow lines ซึ่งเป็นเส้นทางเดินของน้ำผ่านดิน มีจำนวนไม่จำกัด เส้นขอบเขตที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ถือเป็นFlow line เส้นหนึ่ง จะเลือกเขียนเส้น Flow lines ขึ้นมาจำนวนหนึ่ง โดยแต่ละเส้นจะขนานกับเส้นที่ผ่านมาโดยประมาณและ Equipotential lines ซึ่งเป็นเส้นที่มีแรงดันระดับ(Pressure head) บนเส้นFlow lines เท่ากัน มีจำนวนไม่จำกัด จะเลือกเขียนเส้น Equipotential lines ขึ้นมาจำนวนหนึ่ง เส้นขอบเขตที่น้ำไหลเข้าและไหลออกจากดิน ถือเป็น Equipotential line เส้นหนึ่ง คุณสมบัติเฉพาะของ Flow nets ที่ควรทราบสรุปได้ดังนี้

- Flow line และ Equipotential line จะตัดกันเป็นมุมฉาก
- รูปทรงที่เกิดจาก Flow Net จะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยประมาณคือ มีด้านทั้งสี่เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งและสามารถบรรจุวงกลมไว้ภายในโดยมีเส้นรอบวงสัมผัสทุกด้านได้
- ไม่มีการไหลของน้ำข้ามหรือตัด Flow line ดังนั้น Flow line จะต้องไม่ตัดกัน
- ไม่มีการพบกันหรือตัดกันของเส้น Equipotential line
- บนเส้น Equipotential line เส้นใด ๆ จุดบนเส้นนั้นจะมีศักย์น้ำเท่ากัน
- การลดศักย์ของน้ำระหว่างเส้น Equipotential line คู่ใด ๆ จะมีค่าเท่ากันและเรียกว่า”Equipotential space”
- ปริมาณน้ำที่ไหลระหว่าง Flow line คู่ใด ๆ จะมีค่าเท่ากัน และช่องของทางน้ำระหว่างนั้นเรียกว่า “Flow channel”



Flow net of sheet pile wall



Flow net under weir

การคำนวณหาอัตราการซึมของน้ำผ่านคันป้องกันน้ำท่วมสามารถใช้ Flow net และสมการของ Darcy โดยพิจารณาที่ความกว้าง 1 เมตร ของหน้าตัดที่ลึกสุด ดังนี้

$$q = k.\Delta h.(Nf/Nd)$$

เมื่อ q = อัตราการซึมของน้ำผ่านคันป้องกันน้ำท่วม, ลบ.ม/วินาที/ม.

k = ค่าความซึมน้ำของดิน, ม.ต่อวินาที

Δh = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านนอกและด้านในของคันป้องกันน้ำท่วม, ม.

Nf = The number of flow channels

Nd = The number of equipotential drops

- การคำนวณหาแรงดันใต้พื้นอาคารฝายน้ำล้น ประตูระบายน้ำและเขื่อนทดน้ำและ Safe Exit Gradient สามารถใช้ Khosla's Theory และหลักการของตาข่ายการไหลของน้ำ(Flow Nets)

วิเคราะห์ออกแบบความยาวของ Cutoff Wall ได้โดยการปรับ Flow Nets ที่ซับซ้อนให้เป็น Stream lines และ Equipotential lines ที่ไม่ซับซ้อน(Khosla's Flow Net)ขึ้นดังรูป และใช้วิธีการที่เรียกว่า Khosla's Method of independent variable ช่วยในการวิเคราะห์หาแรงดันใต้พื้นอาคารและ Exit Gradient ได้

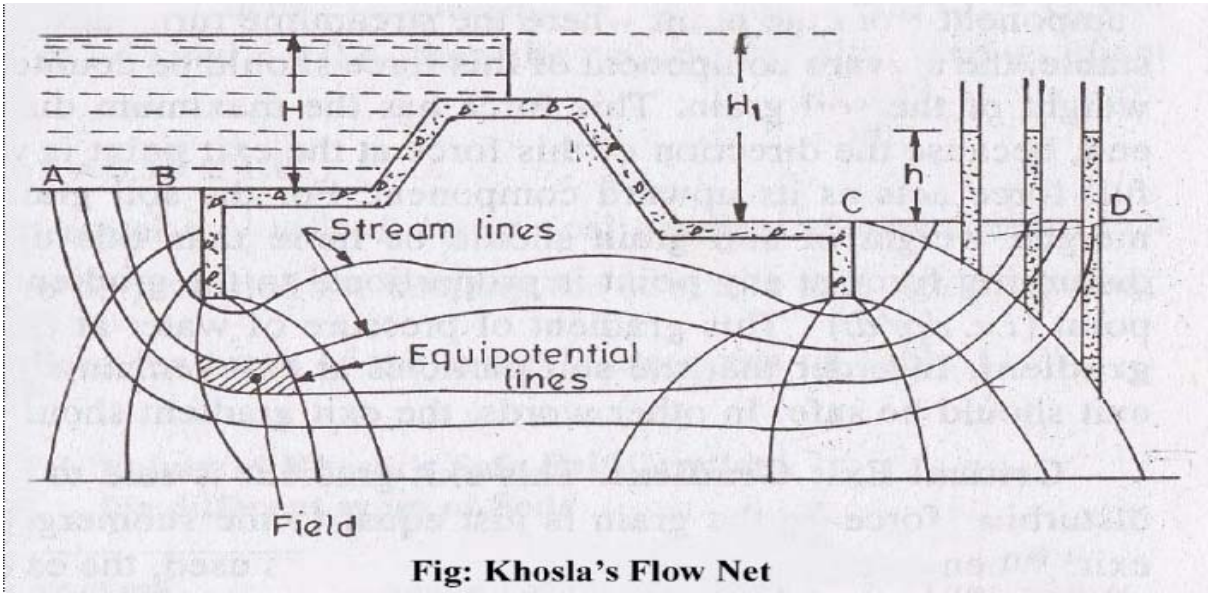
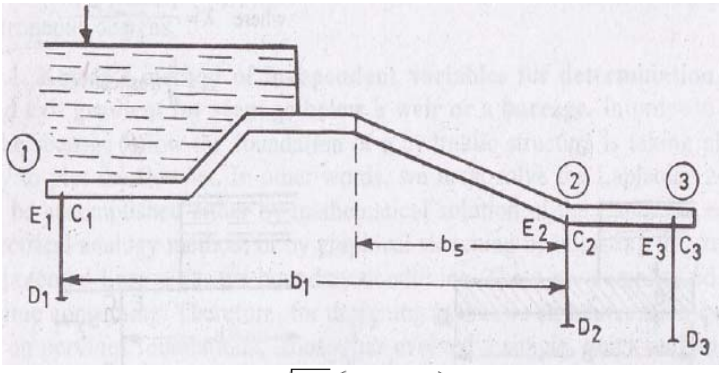


Fig: Khosla's Flow Net

โดยต้องปรับแก้แรงดันใต้พื้นอาคารจากปัจจัยดังนี้

◊ ปรับแก้ผลกระทบจาก Cutoff Wall (Correction for the Mutual interference of Piles, C)



$$C = 19\sqrt{\frac{D}{b'}}\left(\frac{d+D}{b}\right)$$

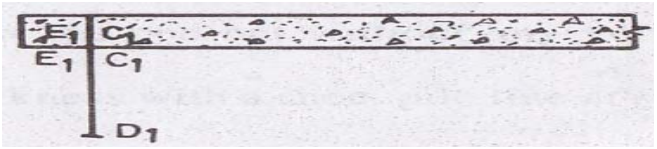
เมื่อ b' = ระยะห่างระหว่าง Cutoff Wall, ม.

D = ความลึกของ Cutoff Wall ที่พิจารณาผลกระทบ, ม.

d = ความลึกของ Cutoff Wall ที่ถูกผลกระทบ, ม.

b = ความยาวพื้นทั้งหมด, ม.

◊ ปรับแก้ผลกระทบความหนาของพื้น (Correction for the thickness of floor)



◊ ปรับแก้ผลกระทบจากความลาดเอียงของพื้น (Correction for the slope of the floor)

Slope (H : V)	Correction Factor
1 : 1	11.2
2 : 1	6.5
3 : 1	4.5
4 : 1	3.3
5 : 1	2.8
6 : 1	2.5
7 : 1	2.3
8 : 1	2.0

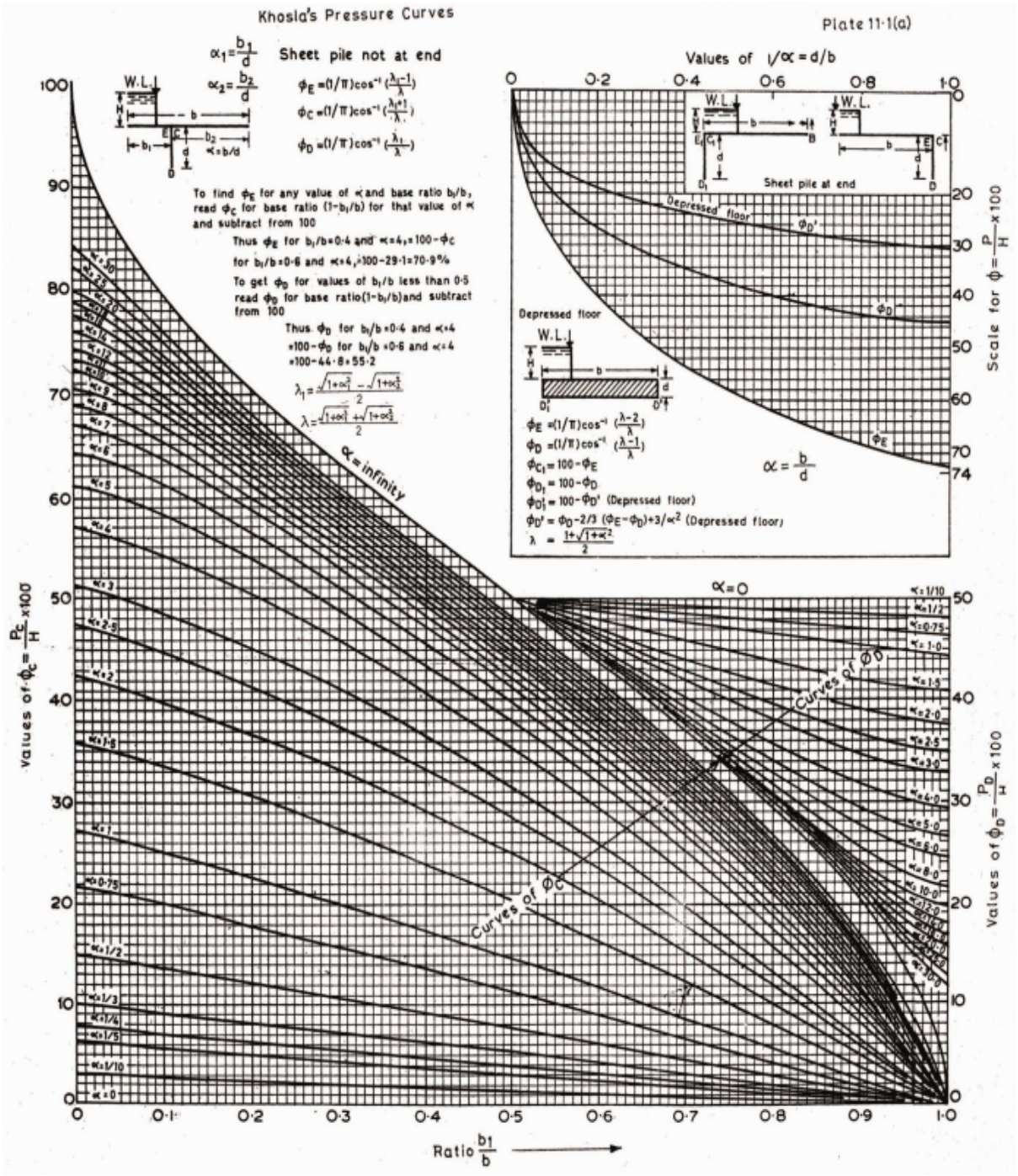
Exit Gradient (G_E) สำหรับพื้นยาว(b) และความลึก Cutoff Wall (d) แถวสุดท้าย

$$G_E = \frac{H}{d} \times \frac{1}{\pi\sqrt{\lambda}}$$

เมื่อ $\lambda = \frac{1+\sqrt{1+\alpha^2}}{2}$

$\alpha = b/d$

H = Maximum Seepage Head



Khosla's pressure Curves

(6) ความหนาของแผ่นพื้นทึบน้ำด้านท้ายน้ำ(Thickness of Apron) ได้จากสมการ

$$t = (4/3)\{(h-h_L)/(\gamma_C-\gamma_W)\}\gamma_W$$

เมื่อ t = ความหนาของแผ่นพื้นทึบน้ำแต่ไม่น้อยกว่า 0.25 ม.

h = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ, ม.

h_L = Head Loss เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านชั้นดินใต้ฐานรากอาคารจนถึงจุดที่พิจารณา, ม.

γ_C = น้ำหนักของคอนกรีตของแผ่นทึบน้ำ, ตัน/ลบ.ม.

γ_W = น้ำหนักของน้ำ ตัน/ลบ.ม.

4/3 = Factor of Safety

(7) การวิเคราะห์ความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร(Stability of Structure) การตรวจสอบเสถียรภาพของอาคารโครงสร้างเช่น

- ความมั่นคงจากการพลิกคว่ำ(Overturning)

  F.S = $Moment_{Resisting}/Moment_{Overturning} \approx 2$

- ความมั่นคงจากการเลื่อนไถล(Sliding)

  F.S = $C.\Sigma F_V/\Sigma F_H \approx 1.5$

เมื่อ ΣF_V = ผลรวมแรงในแนวดิ่ง

ΣF_H = ผลรวมแรงในแนวราบ

C = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน(ผิวสัมผัสคอนกรีตกับดินเหนียว = 0.30)

- ความมั่นคงจากการกดทับของอาคาร(Bearing)

  P = $(\Sigma W/L)(1+6e/L)$ และ P = $(\Sigma W/L)(1-6e/L)$

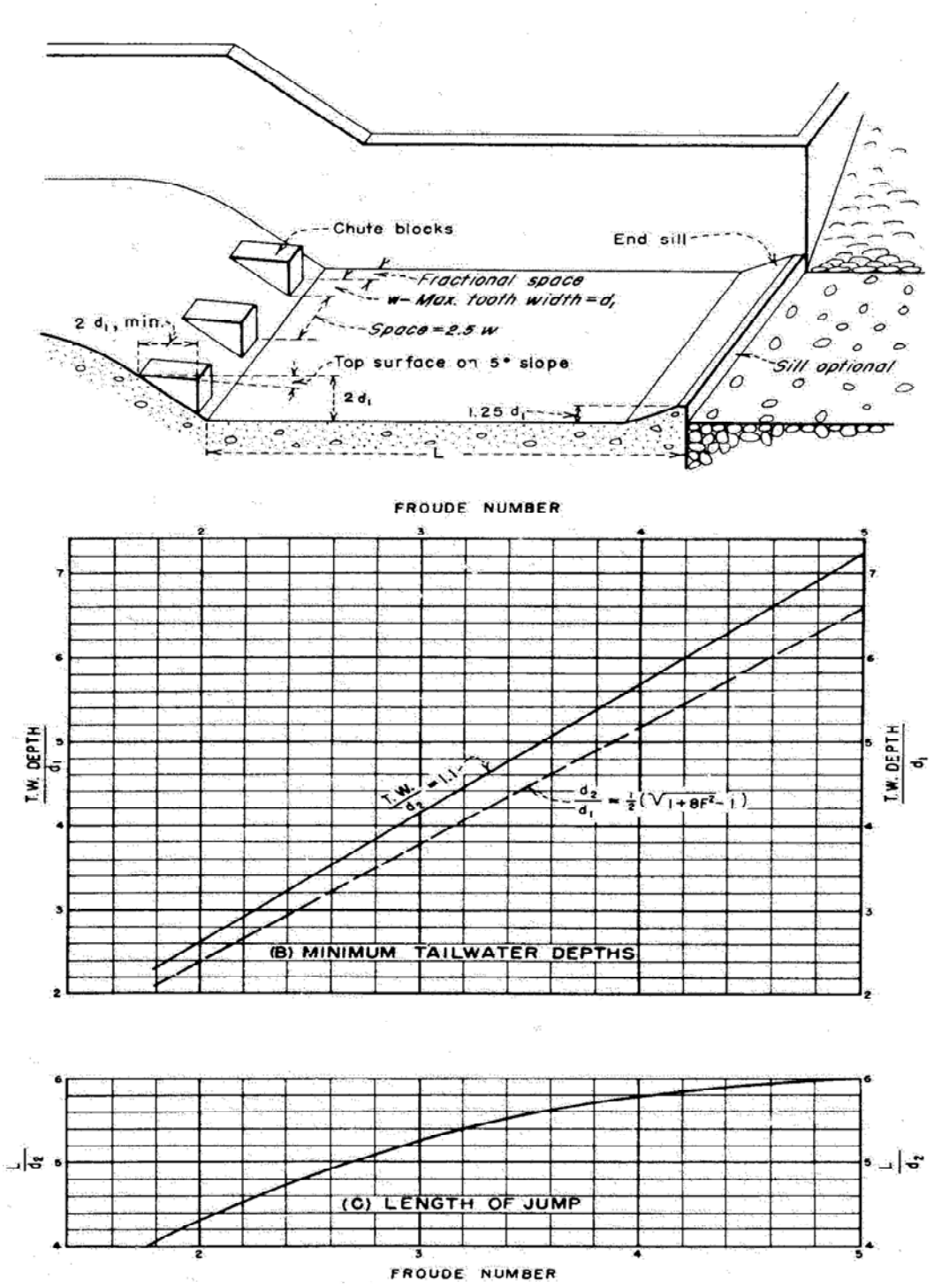
เมื่อ P = แรงกดของอาคารที่กระทำต่อดินฐานรากหรือน้ำหนักบรรทุกที่ดินต้องรองรับต่อหนึ่งหน่วยความยาว, ตัน/ตร.ม

ΣW = แรงรวมในแนวดิ่ง, ตัน

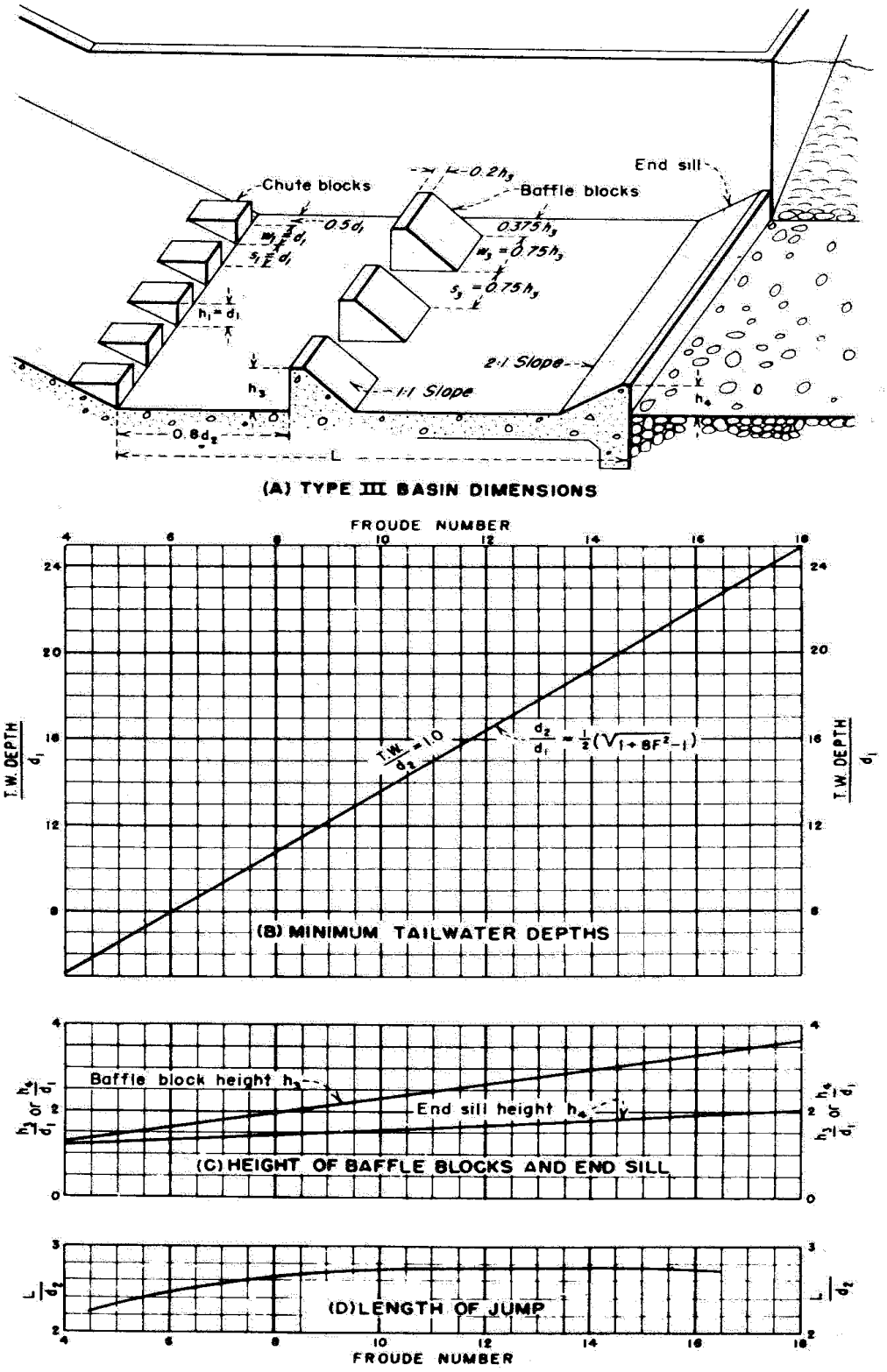
L = ความยาวฐานรากอาคาร, ม.

e = ระยะทางจากแรงลัพธ์ถึงจุดศูนย์กลางความยาวของฐานอาคาร, ม.

กรณีที่เป็นดินอ่อน ทำให้ดินไม่สามารถรองรับน้ำหนักของอาคารทางด้านชลศาสตร์ได้ อาทิ เช่น ฝายน้ำล้น ประตูระบายน้ำและท่อลอด เป็นต้น ผู้ออกแบบต้องใช้เสาเข็มรับน้ำหนักแทนดิน

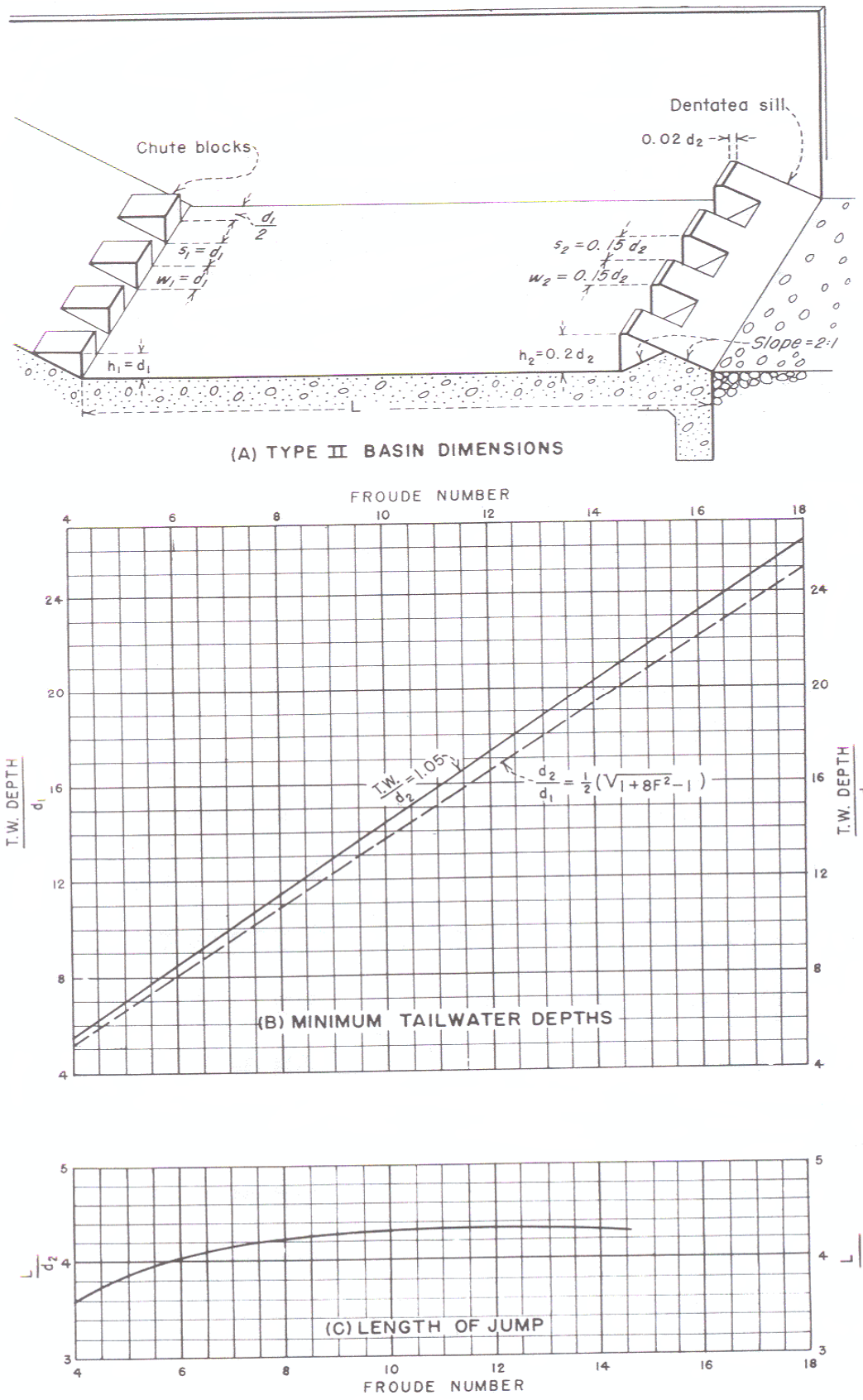


Stilling Basin Characteristics for Froude Number Between 2.5 and 4.5



Stilling Basin Characteristics for Froude Number Between Above 4.5

Where Incoming Velocity Does Not Exceed 50 Feet per Second



Stilling Basin Characteristics for Froude Number Above 4.5

(8) การออกแบบช่วงต่อเชื่อม(Transition)

เป็นส่วนของอาคารที่ใช้ต่อเชื่อมทางน้ำเข้าอาคารชลประทานหรือใช้ต่อเชื่อมทางน้ำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน หรือรูปร่างหน้าตัดที่ไม่เหมือนกัน ในกรณีที่ใช้ต่อเชื่อมทางน้ำกับอาคารชลประทานนั้นจะต้องมีทั้งช่วงต่อเชื่อมเหนือน้ำ (Inlet Transition) และช่วงต่อเชื่อมท้ายน้ำ (Outlet Transition) แต่ถ้าเป็นการต่อเชื่อมทางน้ำเข้าด้วยกันจะใช้ช่วงต่อเชื่อมเพียงอันเดียว จุดประสงค์ของการใช้ช่วงต่อเชื่อมก็เพื่อต้องการลดความปั่นป่วนในการไหลของน้ำที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดที่ไม่เท่ากันหรือไม่เหมือนกันโดยไม่เกี่ยวข้องกับพลังน้ำ

แบบช่วงต่อเชื่อม (Type of Transition) แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ

● **ช่วงต่อเชื่อมแบบขอบโค้ง (Streamline – Warped Transition)** เป็นแบบที่มีรูปร่างคล้อยตามแนวเส้นการไหลของน้ำ (Streamlines) ให้มากที่สุดจึงให้คุณสมบัติทางชลศาสตร์ดีมาก (Good Hydraulic Property) เกิดการสูญเสียระดับน้ำน้อย (Minimum Head Loss) และเกิดการปั่นป่วนของการไหลน้อยที่สุดด้วย จึงเหมาะที่จะใช้กับอาคารขนาดใหญ่ที่ผ่านปริมาณน้ำจำนวนมาก แนวเส้นขอบตลิ่งและเชิงลาดของช่วงต่อเชื่อมจะเปลี่ยนแปลงตั้งแต่แนวดิ่งจนกระทั่งไปเท่ากับลาดเทของตลิ่งของทางน้ำ จึงให้ความยุ่งยากในการก่อสร้างพอสมควร

● **ช่วงต่อเชื่อมแบบขอบตรง (Straight – Warped Transition)** เป็นแบบที่ดัดแปลงมาจากแบบแรกเพื่อให้ก่อสร้างง่ายขึ้นแต่คุณสมบัติทางชลศาสตร์จะไม่ดีนักเหมาะสำหรับอาคารขนาดใหญ่และขนาดกลาง

● **ช่วงต่อเชื่อมแบบลาดด้านข้างสองชั้น (Broken Back or Dog Leg Transition)** เป็นแบบที่แนวเส้นขอบตลิ่งและแนวเส้นเชิงลาดเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับช่วงต่อเชื่อมแบบขอบตรง แต่ทางลาดด้านข้างนั้นทำเป็นสองช่วงตอนคือ ตอนล่างมีส่วนลาดคงที่เท่ากับส่วนลดลาดของทางน้ำและตอนบนเป็นแนวดิ่ง คุณสมบัติทางชลศาสตร์พอใช้ได้และเป็นแบบที่ก่อสร้างง่ายเหมาะสำหรับอาคารชลประทานขนาดเล็กและอาคารในระบบส่งน้ำทั่วไป

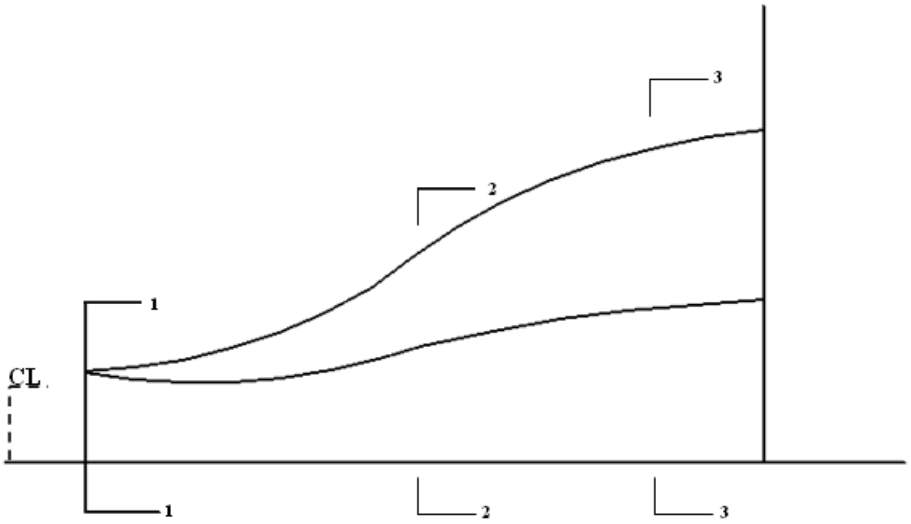
(8.1) การออกแบบทางชลศาสตร์ (Hydraulic Design of Transition)

การกำหนดความยาวของช่วงต่อเชื่อมจะกำหนดขึ้นมาด้วยมุมที่เกิดจากเส้นผิวน้ำสูงสุดตัดกับลาดด้านข้าง ซึ่งทำกับแนวศูนย์กลางของช่วงต่อเชื่อมนั้น (สมมติให้เป็นมุม θ)เกณฑ์การกำหนดค่าของมุม θ มีดังนี้

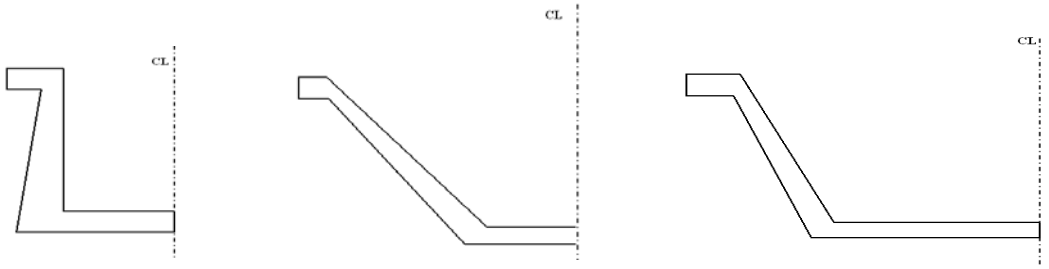
● ในกรณีที่เป็นอาคารใหญ่และต้องการคุณสมบัติทางชลศาสตร์ดีที่สุดให้ใช้มุม θ = 27.5 องศา สำหรับช่วงต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำ, θ = 22.5 องศา สำหรับช่วงต่อเชื่อมด้านท้ายน้ำ

● ในกรณีที่เป็นอาคารใหญ่แต่ต้องการลดค่าก่อสร้างอาจใช้ θ = 25 องศา สำหรับทั้งช่วงต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำก็ได้

● ในกรณีที่เป็นอาคารเล็กและอาคารนั้นทำหน้าที่อัดน้ำด้วย (Check) อาจใช้ θ = 30 องศา สำหรับต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำ

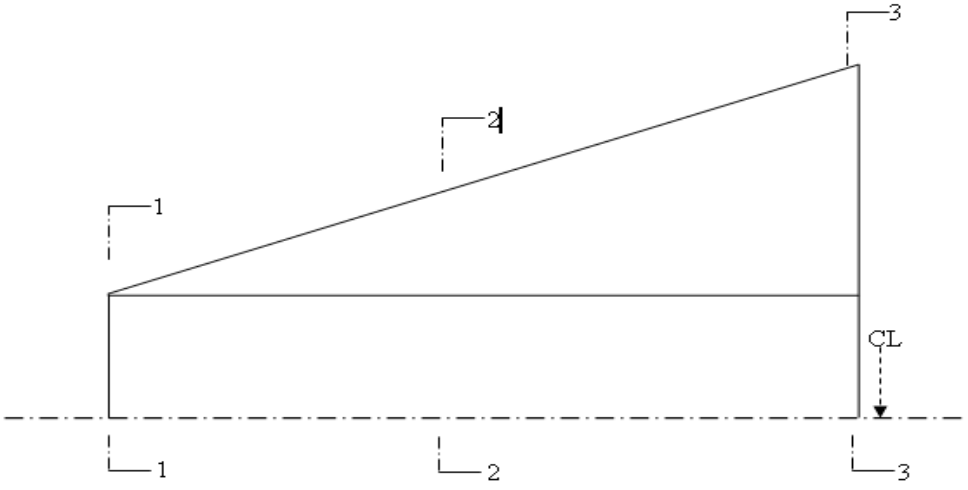


แปลนครึ่งรูป

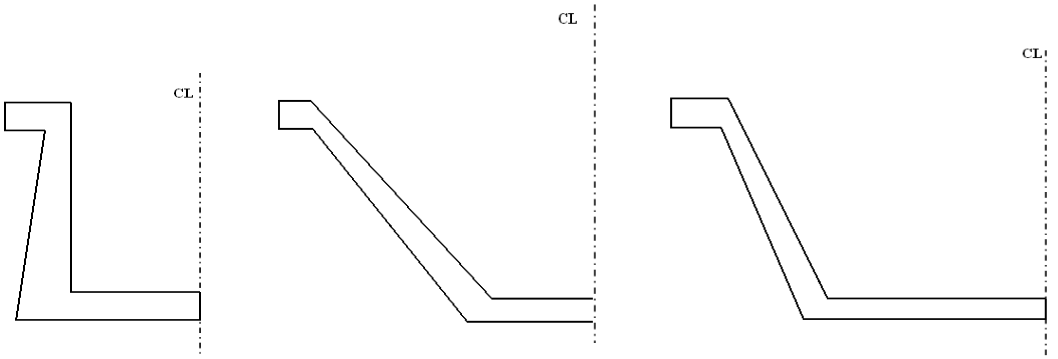


รูปตัด 1 – 1 รูปตัด 2 – 2 รูปตัด 3 – 3

ช่วงต่อเชื่อมแบบขอบโค้ง (Streamline – warped transition)



แปลนครึ่งรูป



รูปตัด 1 – 1 รูปตัด 2 – 2 รูปตัด 3 – 3

ช่วงต่อเชื่อมแบบขอบตรง (Straight – warped transition)

นอกจากนี้สำหรับพื้นของทางช่วงต่อเชื่อมแบบลาดด้านข้างสองชั้นการกำหนดให้มีความลาดชันไม่เกิน 1:6 เพื่อป้องกันการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำ เว้นเสียแต่ว่าจะเรียงหินด้านท้ายน้ำให้มีความยาวเพียงพอเท่านั้น

(8.2) การหาการสูญเสียระดับน้ำที่ผ่านช่วงต่อเชื่อม การออกแบบเพื่อช่วยให้การไหลของน้ำผ่านช่วงต่อเชื่อมเป็นไปโดยราบเรียบและเกิดการเสียระดับน้ำน้อยที่สุดควรกำหนดให้ขอบบนของช่องเปิด (Opening) ของอาคารอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำไม่น้อยกว่า 3 นิ้ว สำหรับช่วงต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำ

ส่วนขอบบนของช่วงเปิดของอาคารด้านช่วงต่อเชื่อมด้านท้ายน้ำไม่ควรให้ต่ำกว่าระดับผิวน้ำเลย แต่ถ้าจะต้องมีระดับต่ำกว่าระดับผิวน้ำจะต้องต่ำกว่าไม่เกิน 1/6 เท่า ของความลึกของช่องเปิดของอาคารจะต้องคำนวณค่าการสูญเสียระดับน้ำ โดยหลักการของการไหลสู่ที่กว้างโดยกระทันหัน (Sudden Enlargement) แทนการหาค่าการสูญเสียระดับน้ำที่จะกล่าวต่อไป

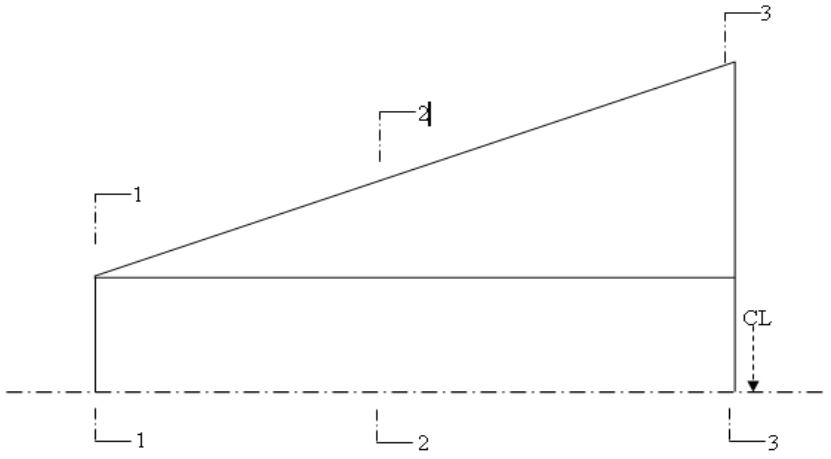
ค่าการสูญเสียระดับน้ำจะหาได้จากสูตร

$$h_L = K.\frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2.g}$$

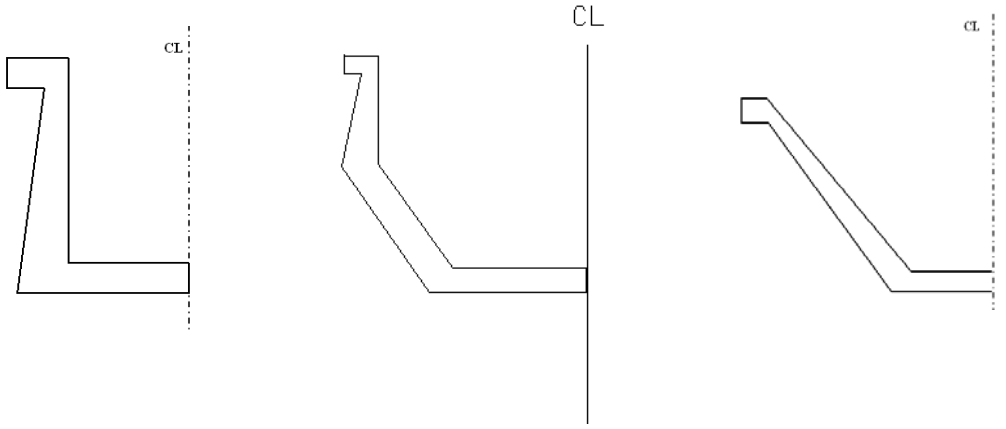
ในเมื่อ h_L = ค่าการสูญเสียระดับน้ำ, ม.

V_1, V_2 = ความเร็วของน้ำที่ปลายทั้งสองของช่วงต่อเชื่อม, ม./วินาที

K = สัมประสิทธิ์ซึ่งดูได้จากตารางในหน้า 3-96



แปลนครึ่งรูป



รูปตัด 1 – 1 รูปตัด 2 – 2 รูปตัด 3 – 3

ช่วงต่อเชื่อมแบบลาดด้านข้างสองชั้น (Broken back or dog leg transition)

(8.3) การออกแบบช่วงต่อเชื่อมแบบขอบโค้ง

- แบ่งความยาว Transition L เป็นหลายช่วงเท่าๆ กัน
- กำหนด side slope ในทุกๆช่วงตามความพอใจโดยถือหลักว่า รีบเปลี่ยนค่า slope ด้านเหนือน้ำให้เร็วและทางด้านท้ายน้ำให้ค่อยๆเปลี่ยนค่า slope
- หาค่า h_X จาก $h_X = \frac{2H}{L^2}.x^2$ โดยคำนวณไปถึงกึ่งกลางความยาว ต่อจากนั้นให้คิดว่าช่วงต่อไปเป็น Reverse Parabolic curve ของครึ่งแรก
- หาค่า v_X จากค่า $h_X = K\left[\frac{v_X^2 - v_O^2}{2.g}\right]$
- หาค่า A_X จากค่า $A_X = \frac{Q}{v_X}$
- หาค่า d_X จาก $d_{X_{fall}} = d_O - h_X + \frac{x}{L}.\Delta$

  หรือ $d_{X_{rise}} = d_O - h_X - \frac{x}{L}.\Delta$

  ส่วนค่า Δ นั้นหาได้จาก

  $$\Delta_{fall} = (H + d_f) - d_O$$

  $$\Delta_{rise} = d_O - (H + d_f)$$

  Rise หรือ Fall ให้ดูจากเหนือน้ำไปสู่ท้ายน้ำว่า “ ขึ้น” หรือ “ ลง “
- หาค่า slope S_t จาก $S_{t_{fall}} = \frac{d_o + F_o + \Delta - d_f - F_f}{L}$

  หรือ $S_{t_{rise}} = \frac{d_o + F_o - \Delta - d_f - F_f}{L}$
- หาค่า H_{T_X} จาก $H_{T_{Xfall}} = d_o + F_o + \Delta_x - x.S_t$

  หรือ $H_{T_{x.rise}} = d_o + F_o - \Delta_x - x.S_t$

- หาค่า F_{T_X} จาก $F_{T_X} = H_{T_X} - d_X$
- หาค่า W_{M_X} จาก $W_{M_X} = \frac{A_X}{d_X}$
- หาค่า W_{b_x} จาก $W_{b_X} = W_{M_X} - S.S_X.d_x$, ($S.S_x$ คือค่า slope ที่กำหนดไว้)
- หาค่า W_{W_X} จาก $W_{W_x} = W_{M_X} + S.S_x.d_x$
- หาค่า W_{T_X} จาก $W_{T_X} = W_{b_X} + 2.S.S_x.H_{T_X}$

หาค่าต่างๆ เหล่านี้ นำไปใส่ในตารางคำนวณจะสะดวกและไม่สับสน และนำค่าที่คำนวณได้ไป plot ก็ได้ Streamline Warped Transition ที่ต้องการ

(8.4) การออกแบบโครงสร้าง (Structural Design of Transition) ในการคำนวณด้านโครงสร้างของช่วงต่างๆแบบจะต้องพิจารณาวัดความยาวของช่วงต่อเชื่อมเป็นช่วง เพื่อลดเหล็กและลดความหนาของคอนกรีตเป็นระยะๆ ไป ส่วนวิธีการคำนวณนั้นจะแบ่งเป็น 2 พวก

◊ แบบขอบโค้งและขอบตรง (Streamline Warped and Straight-Warped Transition)

- กรณีที่ช่วงความกว้างของแบบต่อเชื่อมไม่มากนักจะออกแบบให้ลาดด้านข้างและพื้นเป็นคอนกรีตชิ้นเดียวกันตลอด โดยคิดว่าลาดด้านข้างเป็นคานยื่น (Cantilever Beam) ที่รับแรงดันของดิน ดังรูปด้านข้างล่างนี้

$$P_a = \frac{1}{2}.\gamma.h^2.\frac{K_a}{\cos j}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi + j)}{\cos^2 j(1+\frac{\sin\phi}{\cos j})^2}$$

ในเมื่อ $P_a =$ แรงดันดินต่อความยาวของช่วงต่อเชื่อม 1 เมตร เป็น กิโลกรัม
$\gamma =$ น้ำหนักของดินเป็น กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
$h =$ ความสูงของลาดด้านข้างเป็น เมตร
$\phi =$ มุมทรงตัวของดินเป็น องศา
$j =$ มุมเอียงจากแนวดิ่งของลาดด้านข้างเป็น องศา
$K_a =$ ค่าคงที่

ค่าของโมเมนต์ที่เกิดกับลาดด้านข้างคิดจากแรง P_a กับน้ำหนักคอนกรีตของลาดด้านข้างนั้น ส่วนแรงเฉือนมีค่าเท่ากับ P_a

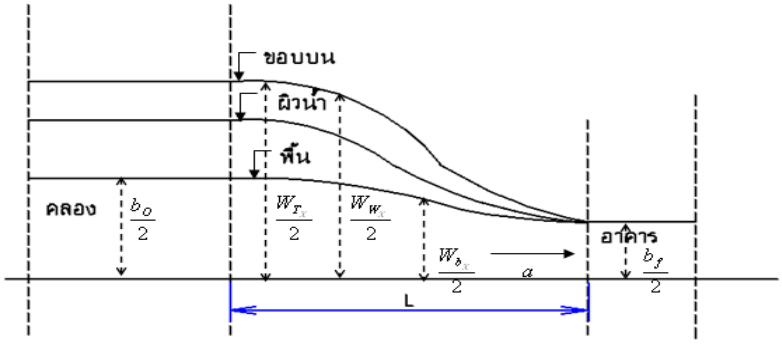
สำหรับส่วนพื้นให้คิดน้ำหนักของลาดด้านข้างทั้งสองมาเฉลี่ยบนความกว้างของพื้นเป็นน้ำหนักแผ่ (Distribution Load) ที่กระทำใต้พื้นนั้น โดยมีค่าของโมเมนต์ที่เกิดจากลาดด้านข้างมากระทำที่ขอบพื้นทั้งสองอีกทีหนึ่ง

- กรณีที่ความกว้างของพื้นช่วงต่อเชื่อมนั้นกว้างมากอันอาจเป็นผลให้ต้องคำนวณความหนาและจำนวนเหล็กเสริมที่พื้นมากเกินไป มักนิยมแยกตัวพื้นตัดขาดจากลาดด้านข้างทั้งสองข้าง และคำนวณให้พื้นวางอยู่บนพื้นดินมีความหนาพอที่จะต้านแรงดันน้ำใต้พื้น (Uplift Pressure) ได้ ส่วนเหล็กให้ใส่เหล็กเสริมเพื่อรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature steel) เพียงอย่างเดียว สำหรับลาดด้านข้างถ้าสูงไม่มากนักให้คำนวณเป็นคานยื่น (Cantilever Beam) แต่ถ้าสูงมากให้คิดเป็นบัทเตรส (Buttress) หรือเคาน์เตอร์ฟอร์ท

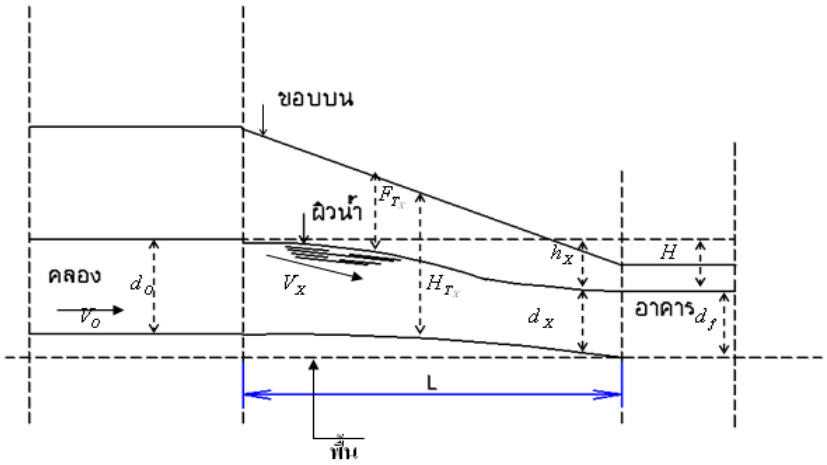
(Counterfort) โดยรับแรงดันของดินและน้ำหนักตัวลาดด้านข้างเอง และต้องกำหนดความกว้างของฐานรับลาดด้านข้างให้พอที่จะต้านทานการพลิกหงาย (Overturning) และการเลื่อนตัว (Sliding) โดยอาจจะใส่กำแพงล่าง (Cutoff) ด้วยก็ได้

◊ แบบลาดด้านข้างสองชั้น (Brocken Back Transition)

การออกแบบลาดด้านข้างให้คิดแรงดันดินปกติตามสูตรทางกลศาสตร์ของดินที่กระทำเฉพาะช่วงที่เป็นกำแพงตั้งดิ่งเท่านั้น ส่วนการหาค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในช่วงที่เป็นแนวเอียงจะต้องคิดแรงดันดินและน้ำหนักกดของลาดด้านข้างกับกำแพงตั้งดิ่งด้วยเสมอส่วนพื้นนั้นให้คิดเช่นเดียวกับพวกที่ 1 แต่แบบนี้ไม่นิยมแยกพื้นกับลาดด้านข้างจากกันเพราะเป็นช่วงต่อเชื่อมที่ใช้กับอาคารขนาดเล็ก จึงมีความกว้างของพื้นไม่มากนัก



แปลนครึ่งรูป



PROFILE

การออกแบบช่วงต่อเชื่อมแบบขอบโค้ง

(9) การออกแบบเพื่อป้องกันการกัดเซาะ ผู้ออกแบบต้องออกแบบให้ความเร็วของน้ำเป็น Sub-Critical Flow เพื่อควบคุมการไหลของน้ำไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะลำน้ำท้ายฝาย โดยการเรียงหินต่อจากฝายออกไปทางท้ายน้ำ

การกำหนดขนาดของหินเรียง (Riprap) แม้ว่าความเร็วของกระแสน้ำจะถูกลดลงไปแล้วด้วยอาคารท้ายน้ำ แต่ก็ยังอาจมีพลังงานพอที่จะกัดเซาะท้ายอาคารได้ ทำให้ต้องกำหนดขนาดของหินเรียงให้โตเพียงพอที่จะต้านทานการกัดเซาะนั้น ความหนาของชั้นหินเรียงไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดโตที่สุดของก้อนหิน ขนาดของหินเรียงหาได้จากสูตรของ U.S.B.R. ดังนี้

$$d_m = 0.041V^2$$

โดยที่ d_m = ขนาดของหิน, ม.

V = ความเร็วของน้ำที่พื้นท้ายน้ำ, ม./วินาที

หินที่ใช้เป็น Riprap ต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.65 ถึง 2.70

นอกจากนี้ มาวิสและลอซซี่ (Mavis and Laushey) ยังได้ให้สมการสำหรับกำหนดขนาดของหินเรียงไว้ดังนี้

$$V = 0.5(d_1)^{½}(s\text{-}1)^{½}$$

ในเมื่อ V = ความเร็วของน้ำด้านท้ายน้ำ, ม./วินาที

d_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางของก้อนหิน, ซม.

S = ความถ่วงจำเพาะของหินประมาณ 2.65

ขนาดของหินเรียงที่ใช้จะต้องมากกว่าที่หาได้จาก 2 สมการข้างต้น ส่วนการกำหนดความยาวของหินเรียงด้านท้ายน้ำไม่ควรน้อยกว่า 4 เท่า ของความลึกของน้ำหลังจากการเกิด Jump(d_2) ส่วนความยาวของหินเรียงด้านเหนือน้ำไม่ควรน้อยกว่าความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำแต่ไม่น้อยกว่า 5 เมตร

4.2) การออกแบบอาคารทางน้ำล้นผ่านถนน(Wet Crossing)

Wet Crossing หรือทางน้ำผ่านถนน ประกอบด้วยอาคารบนถนนที่ก่อสร้างขวางทางน้ำธรรมชาติแล้วสามารถให้น้ำไหลมาล้นข้ามไปได้ เป็นฝายรูปสี่เหลี่ยมคางหมูบางครั้งเรียกว่า Indian Type หรือฝายสันแบน ซึ่งเป็นรูปแบบที่ก่อสร้างขึ้นก่อนในประเทศอินเดีย สามารถให้รถยนต์ขนาดเล็กข้ามได้ สันฝายมีความกว้างประมาณ 2-3 เมตร ลาดเอียงด้านเหนือน้ำอยู่ระหว่าง 1:1 ถึง 1:2 ลาดเอียงด้านท้ายน้ำอยู่ระหว่าง 1:2 ถึง 1:6 และลาดเอียงด้านข้างตรงสันฝายประมาณ 1:8 (เพื่อให้รถยนต์หรือรถทางการเกษตรข้ามได้) การออกแบบ Wet Crossing ที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

(1) การคำนวณอัตราการไหลของน้ำล้นผ่านถนน ใช้สมการดังนี้

- เมื่อน้ำท้ายอยู่ต่ำกว่าสันทางน้ำล้นผ่านถนน(Free Flow)

$$Q = 0.667CLh\,(2gh)^{0.5}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลข้ามฝาย(ลบ.ม.ต่อวินาที)

C = สัมประสิทธิ์ปริมาณน้ำผ่านฝายมีค่าอยู่ระหว่าง 0.60 ถึง 0.70

L = ความยาวสันฝาย(เมตร)

h = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย(เมตร)

- เมื่อน้ำท้ายอยู่สูงกว่าสันทางน้ำล้นผ่านถนน(Submerged Flow)

$$Q = CL(h-\Delta h/3)(2g\Delta h)^{0.5}$$

Δh = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและท้ายน้ำของฝาย(เมตร) ซึ่งเรียกว่า Affux

(2) ระยะเผื่อล้น(Freeboard) เพื่อไม่ให้ถนนเกิดการชำรุดเสียหายจากคลื่นของน้ำหลาก ระดับผิวจราจรของถนนบนฝั่งควรสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดไม่น้อยกว่า 0.60 ม.

(3) ความยาวของอาคารและแผ่นพื้นทึบน้ำ การคำนวณค่า Weighted Creep Ratio สามารถใช้วิธีของ Lane ใน " U.S.B.R. Design of Small Dam" เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

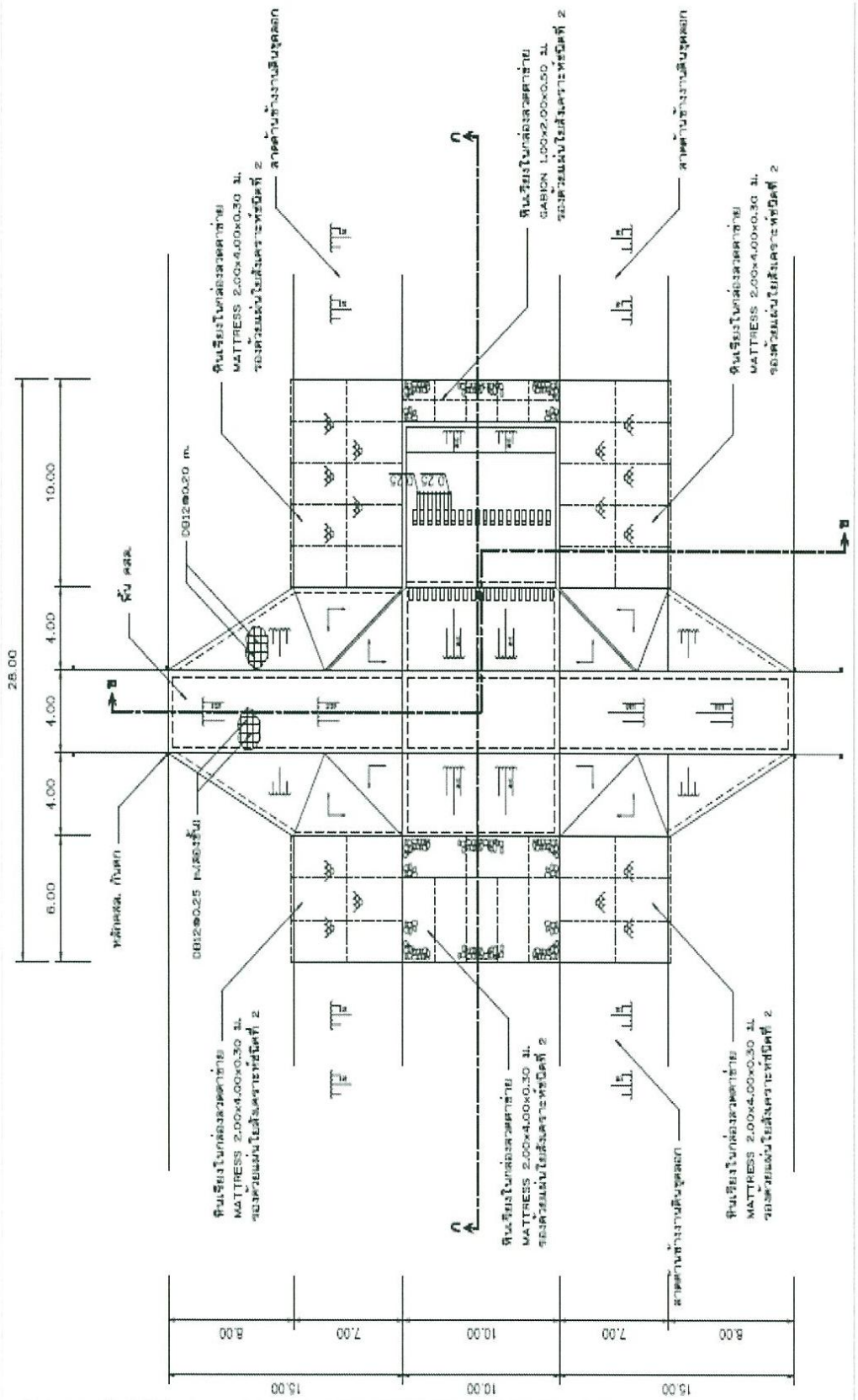
(4) อาคารสลายพลังงาน(Stilling Basin) การป้องกันการกัดเซาะด้านท้ายฝาย อาจใช้อาคารสลายพลังงานแบบต่างๆหรือการใช้หินทิ้ง

(5) อัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลอดถนนคำนวณจากสมการ

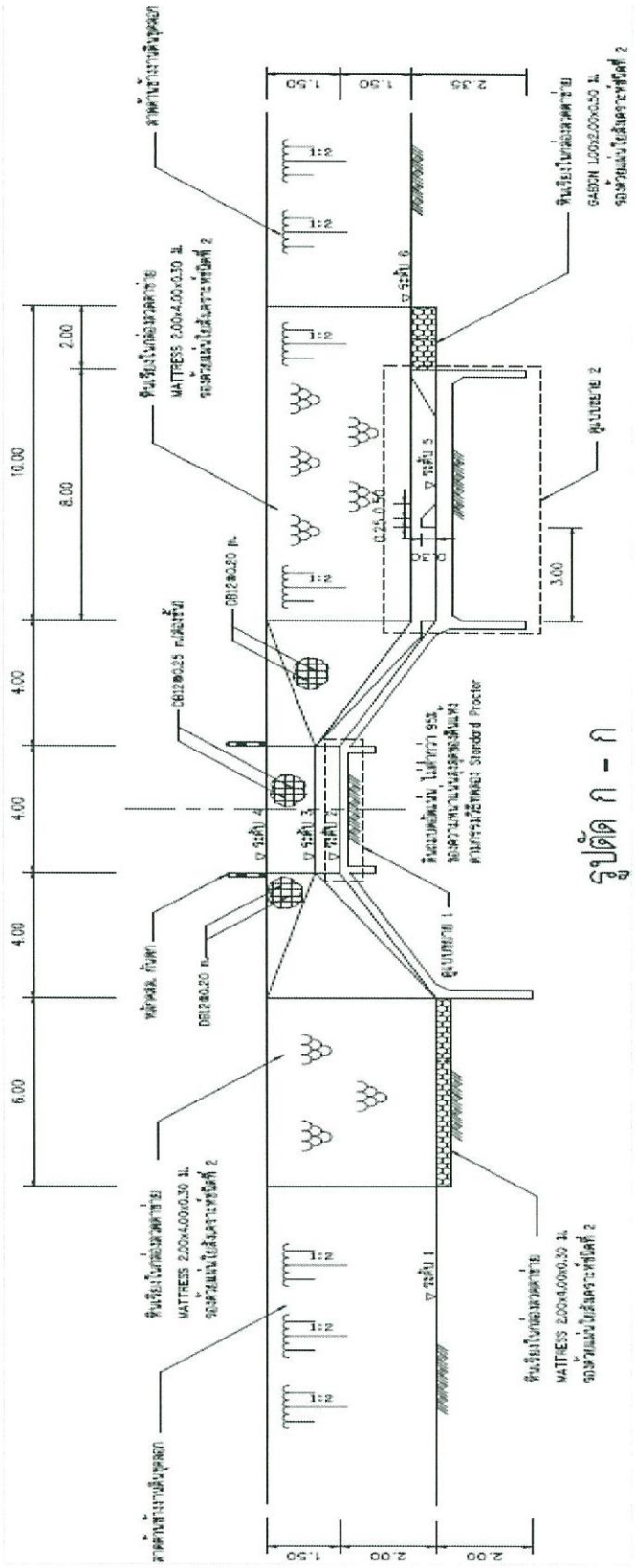
$$Q = 0.65A(2g\Delta h)^{0.5}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดท่อ(ตารางเมตร)

Δh = ความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและท้ายน้ำของท่อ(เมตร)



แปลนอาคารระบายน้ำล้น (Wet Crossing)



รูปตัดตามยาวอาคารระบายน้ำล้น (Wet Crossing)

การคำนวณหาค่า Critical Depth เมื่อการไหลเป็น Free Flow ของทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมูใช้สมการ

$$Q^2T_C/gA_C^3 = 1$$

$$A_C/T_C = Q^2/gA_C^2$$

$$A_C/T_C = V_C^2/g$$

เมื่อ T_C = ความกว้างผิวน้ำที่ Critical Depth(Top Width), เมตร

Hydraulic jump ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (ตำแหน่งของจุด 4 อยู่ก่อน jump และจุด 5 อยู่หลัง jump)

$$r^4+(2.5t+1)r^3+(1.5t+1)(t+1)r^2+(0.5t^2+(t-3Fr_4^2)(t+1))r-3Fr_4^2(t+1)^2 = 0$$

เมื่อ $r = Y_5/Y_4$

$t = b/my_4$

$Fr_4 = V_4/(gY_4)^{0.5}$

m = ลาดเอียงทางรถข้าม

b = ความกว้างก้นทางน้ำ(Bottom Width), เมตร

Y_4, Y_5 = ความลึกน้ำที่จุด 4 (อยู่ก่อน jump) และจุด 5 (อยู่หลัง jump)

3.4 การออกแบบประตูระบายน้ำ(Regulator)

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

ประตูระบายน้ำคือ อาคารที่ทำหน้าที่เก็บกักและผันน้ำเข้าพื้นที่รับประโยชน์หรือทางน้ำสายรอง มีประตูที่เป็นแบบบานตรงหรือบานโค้งช่วยในการควบคุมทั้งระดับเหนือประตูและอัตราการไหลผ่านประตูไปยังท้ายน้ำได้ การออกแบบจะไม่ยอมให้น้ำไหลล้นข้ามได้เหมือนฝาย โดยทั่วไปการออกแบบประตูระบายน้ำจะต้องพิจารณาให้กลมกลืนกับลักษณะภูมิประเทศ สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำที่สุดและที่สำคัญ คือ ต้องสามารถระบายน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบได้อย่างปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวอาคาร ในการออกแบบประตูระบายน้ำจะพิจารณาถึงลักษณะการใช้งาน ตำแหน่งที่ตั้งที่ให้ความปลอดภัยต่อตัวอาคารในทุกกรณี ทั้งในระหว่างก่อสร้างและภายหลังก่อสร้างแล้วเสร็จและใช้งาน

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการเลือกที่ตั้งหรือประยุกต์ใช้ประตูระบายน้ำมีดังนี้

(1) ไม่สามารถก่อสร้างฝายน้ำล้นได้ จำเป็นต้องใช้เป็นประตูระบายน้ำที่มีค่าก่อสร้างสูงขึ้น เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาน้ำท่วมพื้นที่ด้านเหนือน้ำของอาคาร

(2) กรณีที่ตั้งอยู่ในคลองสายหลัก/ทางน้ำหลัก ต้องสามารถควบคุมระดับน้ำหน้าประตูและผันน้ำเข้าคลองสายรอง/ทางน้ำรองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(3) จะต้องบริหารจัดการแหล่งน้ำได้อย่างเหมาะสม

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถระบายปริมาณน้ำนองสูงสุดจากออกแบบทางด้านอุทกวิทยาที่ระดับที่กำหนดไว้

(2) ลักษณะของประตูระบายน้ำจะต้องเหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศ และส่วนของอาคารต้องมีน้ำหนักเพียงพอที่จะสามารถต้านการลอยตัวเนื่องจากแรงยกของน้ำ(Uplift Pressure)

(3) กรณีที่ใช้ประตูระบายน้ำขนาดใหญ่ จะต้องขยายเขตไฟฟ้าให้ถึงหัวงาน เพื่อใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับเปิด-ปิดประตู

(4) แนวที่กำหนดควรพิจารณาให้มีระยะความยาวของอาคารสั้นสุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อประหยัดค่าก่อสร้าง

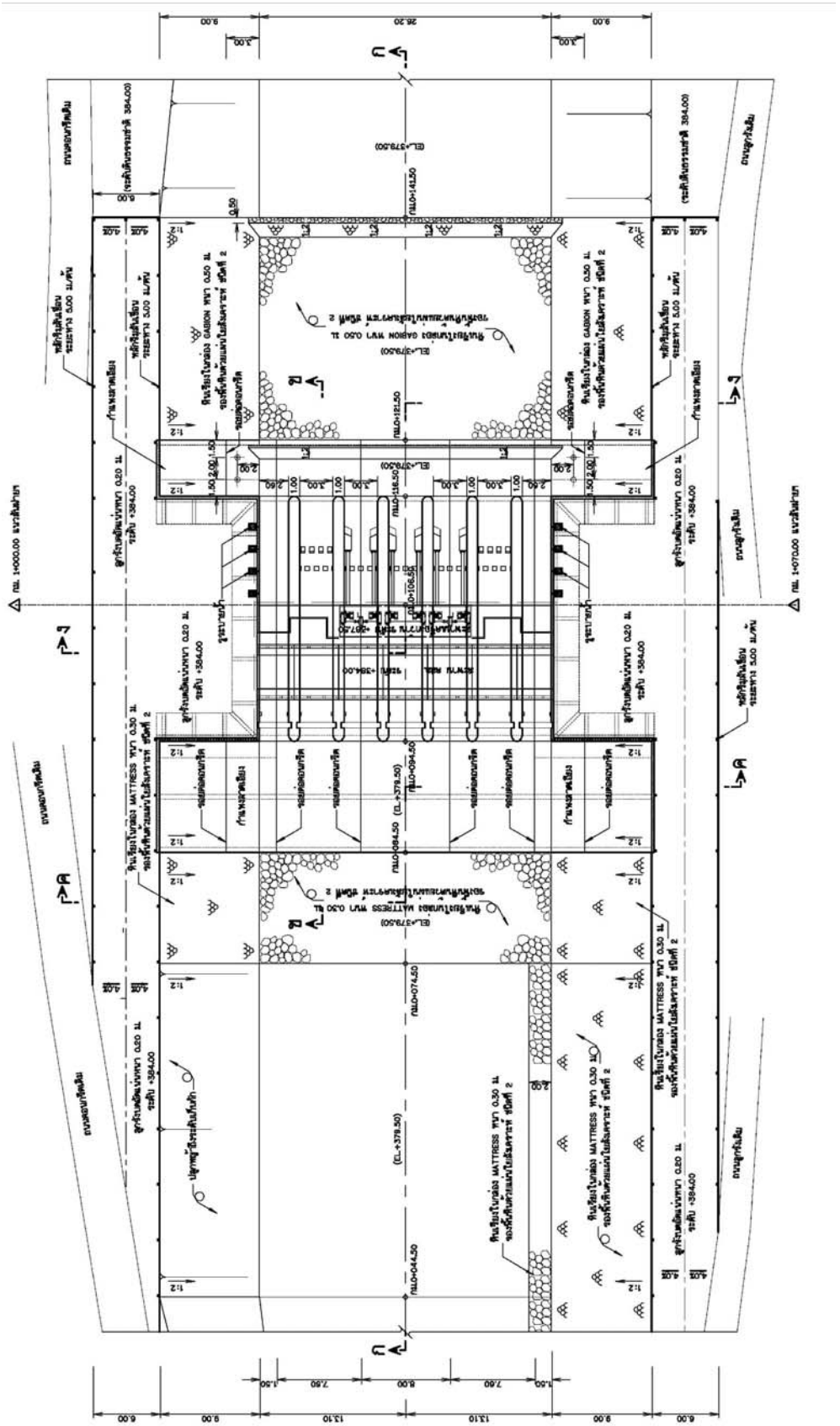
(5) ต้องกำหนดรูปแบบของอาคารสลายพลังงาน (Stilling Basin)ที่เหมาะสมกับสภาพการไหลและภูมิประเทศ

(6) ออกแบบป้องกันการกัดเซาะจากการไหลปั่นป่วนของกระแสน้ำบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างอาคารสลายพลังงานและลำน้ำเดิม

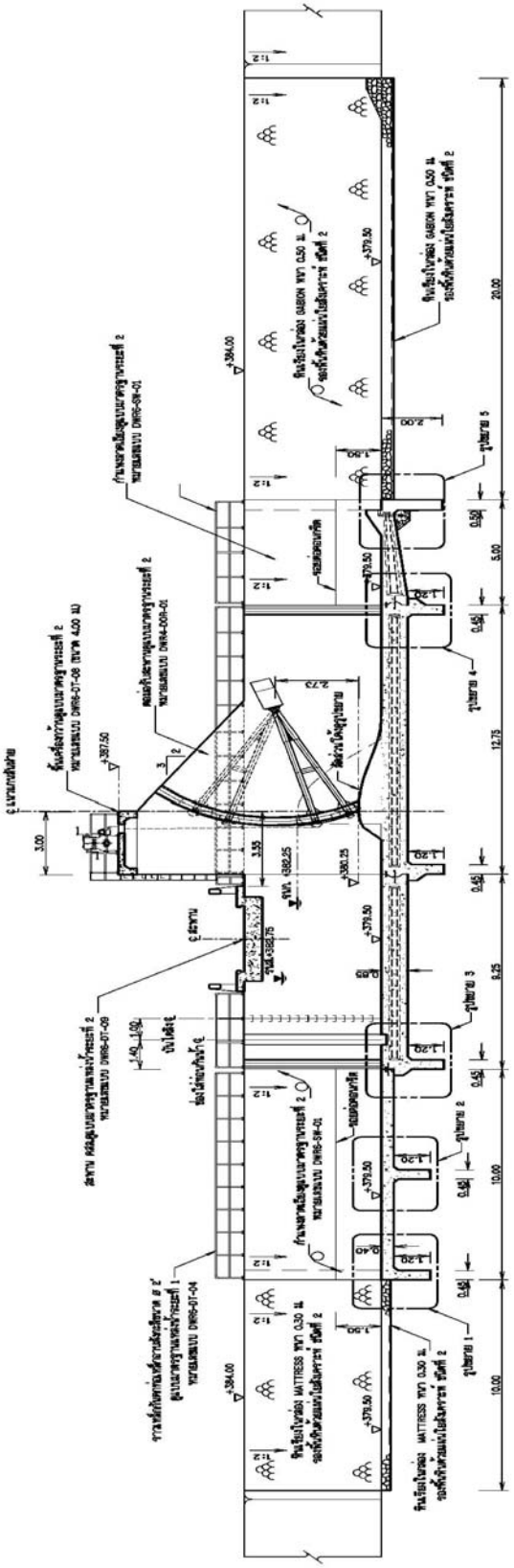
(7) ออกแบบความแข็งแรงทนทานของอาคารให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยคำนึงถึงการใช้วัสดุในท้องถิ่นที่สามารถประหยัดค่าก่อสร้างได้มากที่สุด

4) การออกแบบทางด้านชลศาสตร์(Hydraulic Design)

ประตูระบายน้ำมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ ส่วนป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ ส่วนรับน้ำเข้า(Inlet Transition) โครงสร้างหลัก(Main Structure) และส่วนระบายน้ำออก(Outlet Transition) และองค์ประกอบรอง เช่น บานระบาย และเครื่องกว้าน เป็นต้น ดังแสดงในรูป



แปลนประตูระบายน้ำ



รูปตัดตามยาวประตูระบายน้ำ

การคำนวณออกแบบด้านชลศาสตร์มีเกณฑ์กำหนดดังต่อไปนี้

4.1) ปริมาณการไหลของน้ำผ่านประตูระบายสูงสุด กรณีเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบ ต้องยกบานประตูพ้นน้ำ(Fully Gate Opening) โดยใช้สมการของ ฉลอง(2526) ดังสมการ

$$Q = CA_3(2g\Delta h/(1-C^2A_3^2/A_1^2))^{1/2}$$

เมื่อ

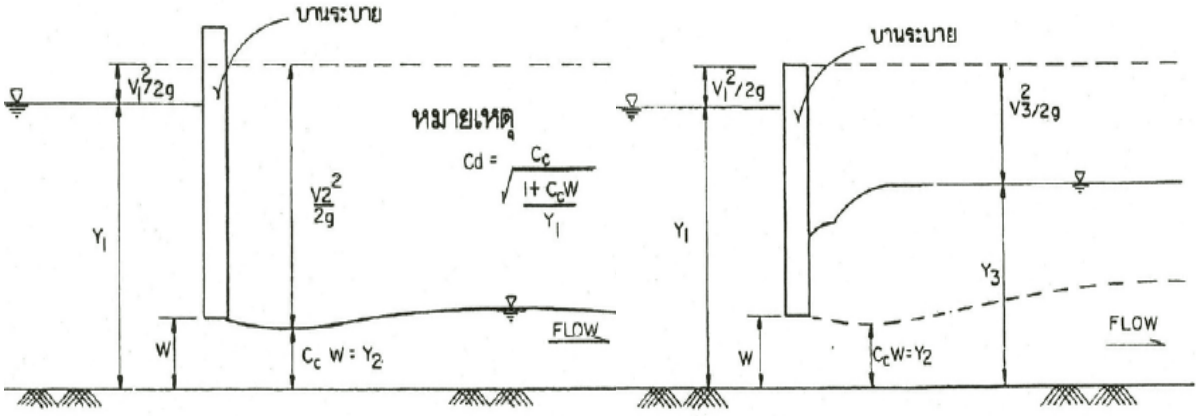
A_1 = พื้นที่หน้าตัดการไหลหน้าประตู = (ระดับเหนือน้ำ – ระดับธรณีประตู.)xความกว้างประตูxจำนวนประตู

A_3 = พื้นที่หน้าตัดการไหลท้ายประตู = (ระดับท้ายน้ำ – ระดับธรณีประตู) xความกว้างประตูxจำนวนประตู

Δh = ระดับน้ำเหนือน้ำ – ระดับน้ำท้ายน้ำ

C = สัมประสิทธิ์การไหลกรณีเปิดบานพ้นน้ำ = 0.85

4.2) ปริมาณการไหลของน้ำลอดใต้ประตูบานตรง(Sluice Gate) กรณีเปิดบานบางส่วน(Partially Gate Opening) การไหลของน้ำเกิดได้ 2 กรณีคือ การไหลของน้ำลอดใต้ประตูบานตรงแบบ Free Flow(ระดับน้ำด้านท้ายไม่มีผลต่อการไหล)และการไหลของน้ำลอดใต้ประตูบานตรงแบบ Submerged Flow(ระดับน้ำด้านท้ายมีผลต่อการไหล) โดยใช้กราฟของ Swamee(1992) ที่ประยุกต์จากกราฟของ Henry(1950) ดังรูป



การไหลลอดใต้ประตูบานตรงแบบ Free Flow การไหลลอดใต้ประตูบานตรงแบบ Submerged Flow

(1) การไหลของน้ำลอดบานประตูบานตรงแบบ Free Flow ปริมาณน้ำไหลคำนวณได้จากสมการ

$$Q = C_dA(2gY_1)^{1/2}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลลอดบานประตู, ลบ.ม./วินาที

C_d = สัมประสิทธิ์การไหลแบบ Free Flow แสดงในรูป หรือ

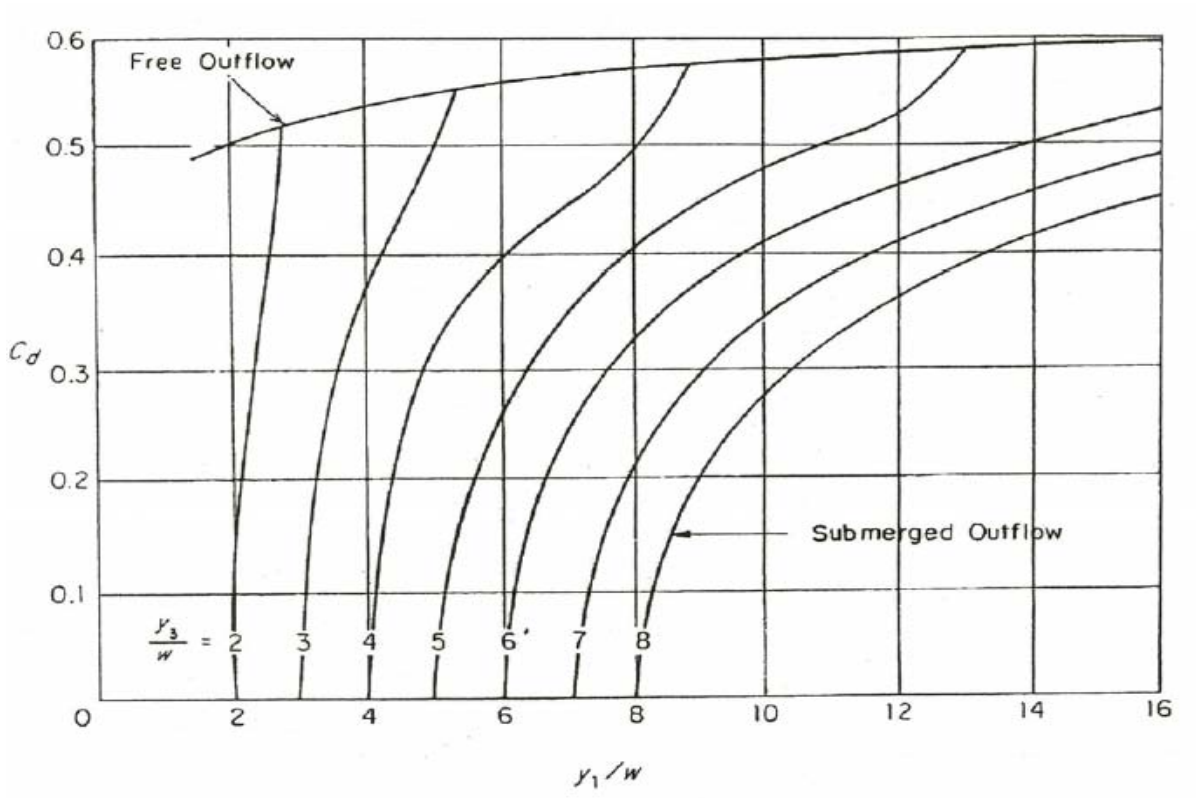
= $0.611\{(Y_1-w)/(Y_1+15w)\}^{0.072}$

L = ความกว้างประตู, ม.

w = ระยะเปิดบานประตู, ม.

A = พื้นที่การไหลใต้บานประตู, ตร.ม. = wL

Y_1 = ความสูงของน้ำด้านหน้าบานประตู, ม.



(2) การไหลของน้ำลอดประตูบานตรงแบบ Submerged Flow ปริมาณน้ำไหลคำนวณได้จากสมการ

$$Q = C_d A(2gY_1)^{1/2}$$

C_d = สัมประสิทธิ์การไหลแบบ Submerged Flow แสดงในรูปหรือ

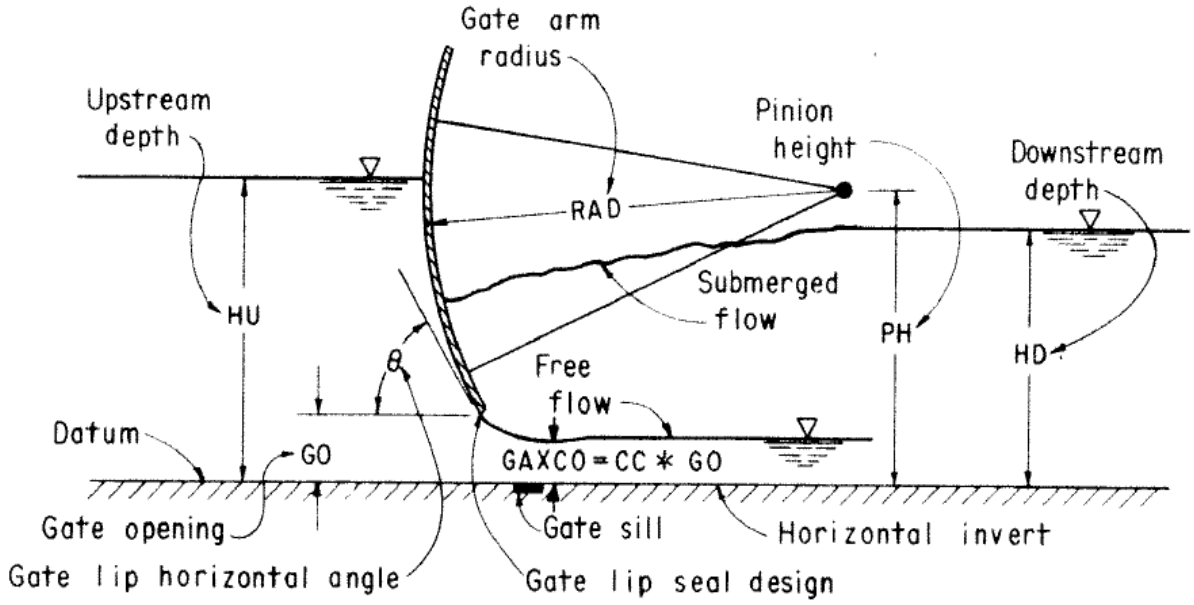
$$= \frac{0.611\left(\frac{y_1 - w}{y_1 + 15w}\right)^{0.072}(y_1 - y_3)^{0.70}}{\left\{0.32\left[0.81y_3\left(\frac{y_3}{w}\right)^{0.72} - y_1\right]^{0.70} + (y_1 - y_3)^{0.70}\right\}}$$

C_C = 0.611

Y_2 = ความสูงของน้ำน้อยที่สุดในช่วงที่ผ่านพ้นบานประตู, ม. = $C_C W$

Y_3 = ความลึกของน้ำด้านท้ายน้ำ, ม.

4.3) ปริมาณการไหลของน้ำลอดใต้ประตูบานโค้ง(Radial หรือ Tainter Gate) กรณีเปิดบานบางส่วน(Partially Gate Opening) การไหลของน้ำเกิดได้ 2 กรณีคือ การไหลของน้ำลอดใต้ประตูบานโค้งแบบ Free Flow(ระดับน้ำด้านท้ายไม่มีผลต่อการไหล)และการไหลของน้ำลอดใต้ประตูบานโค้งแบบ Submerged Flow(ระดับน้ำด้านท้ายมีผลต่อการไหล) โดยใช้ Discharge Algorithms ของ Buyalski(1983) ดังรูป



การไหลของน้ำลอดใต้ประตูบานโค้งแบบ Free Flow และ Submerged Flow

(1) การไหลของน้ำลอดบานประตูแบบ Free Flow ปริมาณน้ำไหลคำนวณได้จากสมการ

$$Q = C_d A(2gHU)^{1/2}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลลอดบานระบาย, ลบ.ม./วินาที

C_d หรือ FCDA = สัมประสิทธิ์การไหลแบบ Free Flow จาก Discharge Algorithms

GW = ความกว้างประตู, ม.

GO = ระยะเปิดบานประตู, ม.

A = พื้นที่การไหลใต้บาน, ตร.ม. = GW.GO

HU = ความสูงของน้ำด้านหน้าบานประตู, ม.

(2) การไหลของน้ำลอดบานประตูแบบ Submerged Flow ปริมาณน้ำไหลคำนวณได้จากสมการ

$$Q = C_d A(2gHU)^{1/2}$$

C_d หรือ SCDA = สัมประสิทธิ์การไหลแบบ Submerged Flow จาก Discharge Algorithms

Free Flow Algorithms	Submerged Flow Algorithms
Eccentricity, FE:	**Directrix, D:**
$AFE = \{0.00212(1+31.2(RAD/PH-1.60)^2)\}^{1/2}+0.901$	$ADA = 1/(11.98RAD/PH-26.7)$
$BFE = \{0.00212(1+187.7(RAD/PH-1.635)^2)\}^{1/2}-0.079$	$ADB = -0.276/(RAD/PH)+0.62$
$FE = AFE-BFE.GO/PH$	$AD = 1/(ADA.GO/PH+ADB)$
Directrix, FD:	$BDA = 0.025RAD/PH-2.711$
$AFD = 0.788-\{0.04(1+89.2(RAD/PH-1.619)^2)\}^{1/2}$	$BDB = -0.33RAD/PH+0.071$
$BFD = 0.0534RAD/PH+0.0457$	$BD = BDA.GO/PH+BDB$
$FD = 0.472-\{BFD(1-(GO/PH-AFD)^2)\}^{1/2}$	$DR = AD.HD/PH+BD$
Focal Distance, FX1:	$D = (1/DR)^{1.429}$
IF $GO/PH \leq 0.277$, $FX1 = 1.94GO/PH-0.377$	**Eccentricity, E:**
IF $GO/PH > 0.277$, $FX1 = 0.18GO/PH+0.111$	$AEA = -0.019RAD/PH+0.06$
$FXV = HU/PH-FX1$	$AEB = 0.0052RAD/PH+0.996$
Focal Distance, FY1:	$AE = 1/(AEA.GO/PH+AEB)$
$FY1 = 0.309-0.192GO/PH$	$BEK = -0.293RAD/PH+0.32$
Free Coefficient of Discharge, FCDA:	$BE = BEK+\{0.255(1+1.4286(GO/PH-0.44)^2\}^{1/2}$
$FCDA = \{FE^2(FD+FXV)^2-FXV^2\}^{1/2}+FY1$	$ER = AE.D+BE$
	$E = \{\ln(ER/D)\}^{1/2}$
	Vector, V1:
	$V1 = E.D/(1+E)$
	Focal Distance, FY:
	$AFA = -0.158/(RAD/PH)+0.038$
	$AFB = 0.115.RAD/PH+0.29$
	$AF = AFA.GO/PH+AFB$
	$BFA = 0.0445/(RAD/PH)-0.321$
	$BFB = -0.092/(RAD/PH)+0.155$
	$BF = BFA/(GO/PH)+BFB$
	$FY = BF-AF.HD/PH$
	IF $FY \leq 0.0$, $FY = 0.0$ and $FX = 0.0$
	IF $FY > 0.0$, $FX = (V1^2+FY^2)^{1/2}-V1$
	$VX = HU/PH-(V1+HD/PH+FX)$
	Submerged Coefficient of Discharge, SCDA:
	$SCDA = \{E^2.(D+VX)^2-VX^2\}^{1/2}+FY$

4.4) การออกแบบอาคารสลายพลังงาน เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

4.5) การสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับกับปริมาณน้ำของทางน้ำท้ายประตูระบาย ผู้ออกแบบต้องดำเนินการเช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

4.6) ความยาวของอาคารและแผ่นพื้นทึบน้ำ อาคารด้านชลศาสตร์ที่ชำรุดเสียหายหรือพังทลายลงส่วนใหญ่เกิดจากการรั่วซึมของน้ำในดิน ซึ่งพัดพาเอาเม็ดดินใต้พื้นอาคารไปทางด้านท้ายน้ำ (Piping) ทำให้พื้นอาคารเป็นโพรงซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร การคำนวณค่า Weighted Creep Ratio สามารถใช้วิธีของ Lane ใน “ U.S.B.R. Design of Small Dam” เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

4.7) ความหนาของแผ่นพื้นทึบน้ำด้านท้ายน้ำ(Thickness of Apron) เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

4.8) การกำหนดขนาด ความยาวและความหนาของชั้นหินเรียง ด้านท้ายน้ำเช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น ส่วนความยาวหินเรียงด้านเหนือน้ำเท่ากับ 3 เท่าของความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำ

4.9) การวิเคราะห์ความมั่นคงของโครงสร้างอาคาร เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

3.5 การออกแบบอาคารระบายน้ำล้น(Spillway)

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

อาคารระบายน้ำล้นคือ อาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินลงไปยังท้ายน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้ระดับน้ำขึ้นสูงเกินระดับที่เหมาะสมจนเป็นอันตรายต่ออาคารหลักหรืออาคารประกอบของโครงการ เช่น อ่างเก็บน้ำ หนองน้ำ/บึงที่ปรับปรุงเพื่อการอนุรักษ์และฟื้นฟู เป็นต้น โดยทั่วไปการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีเทคนิคของดินฐานราก สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำที่สุดและที่สำคัญ คือ ต้องสามารถระบายน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบได้อย่างปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวอาคาร คลองระบายน้ำและลำน้ำเดิมจากการกัดเซาะ ในการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นจะพิจารณาถึงรูปร่างการใช้งาน ตำแหน่งที่ตั้งที่ให้ความปลอดภัยต่อตัวอาคารในทุกกรณี ทั้งในระหว่างก่อสร้างและภายหลังก่อสร้างแล้วเสร็จและใช้งาน

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการเลือกที่ตั้งหรือประยุกต์ใช้อาคารระบายน้ำล้นมีดังนี้

(1) การเลือกรูปร่าง/ประเภทของทางระบายน้ำล้นต้องเหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีเทคนิคของดินฐานราก เพื่อประหยัดค่าก่อสร้าง

(2) กรณีที่ต้องระบายปริมาณน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบสูงๆ ต้องพิจารณาใช้ประตูระบายน้ำบนสันทางระบายน้ำล้นช่วย เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำหลากมีประสิทธิภาพ

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถระบายปริมาณน้ำนองสูงสุดจากการออกแบบทางด้านอุทกวิทยาที่ระดับที่กำหนดไว้

(2) ชนิดของอาคารน้ำล้นจะต้องเหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้ง ลักษณะภูมิประเทศและดินฐานราก ส่วนของอาคารต้องมีน้ำหนักเพียงพอที่จะสามารถต้านการลอยตัวเนื่องจากแรงยกของน้ำ(Uplift Pressure)

(3) ที่ตั้งของอาคารระบายน้ำล้นควรมีความเหมาะสมทางด้านชลศาสตร์ เพื่อลดผลกระทบด้านการก่อสร้างที่จะมีต่อไป

(4) แนวที่กำหนดควรพิจารณาให้มีระยะความยาวของอาคารสั้นสุดเท่าที่เป็นไปได้ เพื่อประหยัดค่าก่อสร้าง

(5) อาคารทั้งหมดโดยเฉพาะส่วนที่เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะกำหนดให้วางอยู่บนดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักอาคารโดยไม่เกิดการทรุดตัว

(6) ต้องกำหนดรูปแบบของอาคารสลายพลังงาน (Stilling Basin)ที่เหมาะสมกับสภาพการไหลและภูมิประเทศ

(7) ความลึกของน้ำที่ไหลในรางเท(Chute)และอาคารสลายพลังงาน(Stilling Basin) จะต้องไม่ไหลข้ามกำแพงกันดินด้านข้าง

(8) คลองระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้น ต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะรับอัตราการไหลที่ระบายออกและควรจะให้เชื่อมต่อกับลำน้ำเดิม โดยให้มีความสอดคล้องกลมกลืนไปกับลำน้ำ และไม่กีดขวางการไหลที่จะก่อให้เกิดการกัดเซาะบริเวณจุดตัดของทางระบายน้ำและลำน้ำเดิมได้

(9) ต้องออกแบบป้องกันการกัดเซาะจากการไหลปั่นป่วนของกระแสน้ำบริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างอาคารสลายพลังงานและคลองระบายน้ำ คลองระบายน้ำกับลำน้ำเดิม

(10) ต้องออกแบบดินขุดและดินถมตลอดความยาวคลองระบายน้ำให้มีความมั่นคงต่อการเลื่อนตัวและการวิบัติของลาดดินขุดดินถมตลอดอายุการใช้งาน มีอัตราความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

(11) ต้องออกแบบความแข็งแรงทนทานของอาคารให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยคำนึงถึงการใช้วัสดุในท้องถิ่นที่สามารถประหยัดค่าก่อสร้างได้มากที่สุด

4) การออกแบบทางด้านชลศาสตร์(Hydraulic Design)

อาคารทางระบายน้ำล้นจากอ่างเก็บน้ำมีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนดังนี้

- ทางชักน้ำเข้า (Approach Channel)
- ฝายน้ำล้น (Overflow Crest of Spillway)
- ส่วนระบายน้ำหรือรางเท (Chute) มีลักษณะเป็นรางตัว U วางเอียงเชื่อมต่อกับส่วนลดพลังงานท้ายน้ำ (Terminal Structure) ทำหน้าที่ระบายน้ำไปยังลำน้ำเดิมท้ายเขื่อนโดยผ่าน Terminal Structure
- ส่วนลดพลังงานท้ายน้ำ (Terminal Structure) โดยทั่วไปจะมีหลายชนิด ในเบื้องต้นจะพิจารณาชนิด U.S.B.R Stilling Basin เว้นแต่หากผลการเจาะสำรวจธรณีฐานรากเพิ่มเติม ปรากฏว่าชั้นหินแข็งที่อยู่ตื่นกว่าที่คาดไว้ อาจพิจารณาออกแบบเป็นชนิดอื่นๆ เช่น Flip bucket และ plunge pool เป็นต้น
- ทางระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (Tail Channel) ทำหน้าที่ระบายน้ำต่อจาก Terminal Structure ไปยังลำน้ำเดิมท้ายเขื่อน การออกแบบจะกำหนดให้มีหน้าตัด (Cross Section) เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยให้การไหลของน้ำเป็นแบบ Sub-critical Flow หาก Terminal Structure เป็นชนิด Stilling Basin ระดับน้ำใน Tail Channel จะต้องสูงพอที่จะควบคุมไม่ให้ความสูงของ Jump ใน Basin เกินกว่าระดับน้ำใน Tail Channel ได้ในทุกๆช่วงของปริมาณน้ำที่ระบาย

(1) สันฝายน้ำล้น(Overflow Crest of Spillway) ลักษณะอาคารจะมีรูปร่างแบบ Ogee Weir ซึ่งมีความยาวเพียงพอที่จะระบายน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบได้ ซึ่งสามารถคำนวณลักษณะของรูปร่างและความยาวของสัน Spillway ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

(2) การออกแบบอาคารลำเลียงน้ำ(Chute Channel) อาคารลำเลียงน้ำมีลักษณะเป็นรางน้ำที่ต่อจากรางรับน้ำล้น (Trough) จะต้องมีความลาดชันมากเรียกว่า รางเท การไหลในรางนี้เป็นแบบ Super – critical Flow หลักเกณฑ์ในการออกแบบรางเท มีจุดประสงค์ที่จะรับน้ำและระบายลงสู่ท้ายน้ำ โดยให้มีความยาวของรางสั้นที่สุด แต่ในขณะเดียวกันต้องพยายามให้ท้ายน้ำห่างจากเชิงลาดตัวเขื่อนในระยะที่ไม่เป็นอันตรายต่อการกัดเซาะต่อฐานรากเขื่อน หากลักษณะภูมิประเทศที่ตั้งของรางเทมีความชันมาก และร่องรับน้ำเป็นหินที่ทนทานต่อการกัดเซาะก็สามารถลดความยาวของรางเทได้ โดยการออกแบบให้ปลายรางเทเชิดขึ้นเพื่อให้น้ำโจน (Deflector or Flip Bucket) ซึ่งน้ำจะพุ่งลอยในอากาศสลายพลังงานโดยอัตโนมัติก่อนที่จะตกสู่ร่องน้ำธรรมชาติโดยไม่เกิดการกัดเซาะ

(2.1) จุด Control Section เป็นตำแหน่งที่จะกำหนดจุดเริ่มต้นของความลึกของน้ำใน Chute โดยจุดนี้จะกำหนดการเปลี่ยนแปลงสภาวะการไหลของน้ำใน Chute จาก Sub-critical Flow เป็น Critical Flow ดังนั้นการคำนวณหาความลึกของน้ำที่จุดนี้จะคำนวณจาก

$$d_c = (q^2/g)^{1/3}$$

โดยที่ d_c = ความลึกน้ำที่จุด Control Section (Critical Depth), ม.

q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสันฝายต่อความยาว 1 ม.

= Q/L (ลบ.ม./วินาที/ม.)

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน Chute (ลบ.ม./วินาที)

L = ความกว้าง Chute (ม.)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 ม./วินาที^{2}

เมื่อคำนวณหาค่า d_C (critical Depth) จากจุดนี้ได้แล้วจะนำไปเป็นจุดเริ่มต้นในการคำนวณหาค่าความลึกของน้ำที่จุดต่างๆตลอดความยาว Chute ต่อไป

(2.2) การคำนวณ Flow Profile ในช่วงรางเทจะใช้ Direct Step Method จากสมการในหนังสือ Open Channel ของ Henderson, F.M(1996) ดังรูปข้างล่าง ดังนี้

$$\Delta X = \frac{(E_2 - E_1)}{(S_0 - S_f)}$$

เมื่อ ΔX = ระยะระหว่างช่วงหนึ่งในรางเท

E_1, E_2 = Specific Energy $(y + \frac{v^2}{2g})$ ที่จุดหัวและท้ายของช่วงนั้น

S_0 = ความลาดชันของพื้นรางเท

S_f = Friction slope เฉลี่ยระหว่างหัวท้ายของช่วงนั้น = $\frac{S_{f_1} + S_{f_2}}{2}$

S_{f_1}, S_{f_2} = $\frac{(V.n)^2}{R^{\frac{4}{3}}}$ จาก manning Formula

(2.3) การคำนวณโค้งคว่ำ(Convex Curvature) ใช้กรณีที่พื้น Chute เปลี่ยนลาด Slope ชันกว่าเดิมมีสมการดังนี้

$$Y = X.\tan\theta_0 + \left(\frac{X^2(\tan\theta_L - \tan\theta_0}{2.L_t} \right)$$

และ $L_t = \left[\frac{(\tan\theta_L - \tan\theta_0).2(d + h_v)\cos^2\theta_0}{K} \right]$

เมื่อ L_t = ระยะทางในแนวราบจากจุดกำเนิดถึงจุดสิ้นสุดโค้ง

θ_0 = มุมที่พื้น Chute ด้านเหนือน้ำของโค้งทำกับแนวราบเป็นองศา

θ_L = มุมที่พื้น Chute ด้านท้ายน้ำของโค้งทำกับแนวราบเป็นองศา

$d + h_v$ = Specific Head ของน้ำไหลที่จุดกำเนิดโค้ง

K = Acceleration Factor (มีค่าไม่เกิน 0.5 เพื่อไม่ให้เกิด Negative Pressure ที่พื้นรางเท)

(2.4) การคำนวณโค้งหงาย (Concave Curvature) จะคำนวณหงายตรงบริเวณที่พื้น Chute ที่เปลี่ยนแปลงความชันจากมากไปหาน้อย รัศมีโค้งจะต้องมากเพียงพอที่จะไม่ให้เกิดแรงดันที่พื้นเนื่องจากแรงเหวี่ยงของน้ำที่ไหลสูงเกินไป รัศมีโค้งหาได้ดังนี้

$$R = \frac{2q.V}{P} \quad \text{หรือ} \quad R = \frac{2.dV^2}{P}$$

เมื่อ R = รัศมีน้อยที่สุดของโค้ง, ฟุต

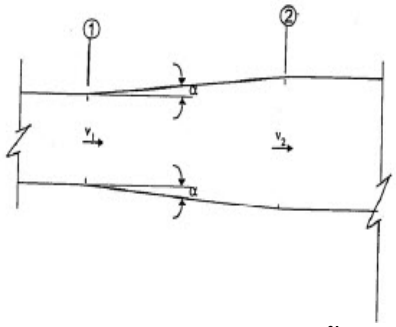
q = อัตราการไหลของน้ำ, ฟุต ^{3}/วินาที/ฟุต
V = ความเร็วของน้ำ, ฟุต/วินาที
d = ความลึกของน้ำ, ฟุต
P = ความดันที่พื้นโค้ง, ปอนด์/ฟุต^2

โดยปกติรัศมีความโค้งที่เหมาะสมจะมีแรงดันที่พื้นโค้งประมาณ 1,000 ปอนด์/ฟุต^2 (Design of Small Dams หน้า 387)

(2.5) Transition ของรางน้ำ การเปลี่ยนแปลงความกว้างของ Chute จะต้องควบคุมมิให้เกิดคลื่นสูงในช่วงที่แคบลง (Convergent) และต้องให้มีการไหลแผ่กระจาย โดยสม่ำเสมอตลอดความกว้างที่ผายออก (Divergent) มุมเบี่ยงเบนจากศูนย์กลางของผนังกำแพงของ Chute จะต้องมีมุมไม่เกินค่าที่กำหนดให้ดังนี้

$$Tan\ \alpha = \frac{[g.d]^{\frac{1}{2}}}{3.V}$$

เมื่อ α = มุมที่ผนังกำแพงเบนจากศูนย์กลาง, องศา
g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วง = 9.81 ม./วินาที^{2}
V = ความเร็วเฉลี่ยใน Transition, ม./วินาที^{2}
= $0.5(V_1 + V_2)$
d = ความลึกเฉลี่ยของน้ำใน Chute, ม.
= $0.5(d_1 + d_2)$



Transition ของรางน้ำ

(2.6) ระยะเผื่อพ้นน้ำ(Freeboard) ของ Chute ระยะเผื่อพ้นน้ำของผนังกำแพง Chute คำนวณได้จาก Design Of Small Dam หน้า 385 ดังนี้

Freeboard = $2.0 + 0.025\,V\,(d)^{\frac{1}{3}}$, ฟุต
หรือ = $0.61 + 0.037\,V\,(d)^{\frac{1}{3}}$, ม.

เมื่อ Freeboard = ระยะเผื่อพ้นน้ำ, ม.
V = ความเร็วน้ำไหลเฉลี่ย, ม./วินาที
d = ความลึกเฉลี่ยของน้ำไหล, ม.

(3) การออกแบบอาคารสลายพลังงาน อาคารท้ายน้ำ(Terminal Structure)เป็นอาคารที่ออกแบบเพื่อสลายพลังงานหรือลดความเร็วของกระแสน้ำ ก่อนที่จะระบายทิ้งลงสู่ลำน้ำเดิม เป็นการป้องกันการกัดเซาะต่อทางน้ำท้ายอาคาร

(3.1)**กรณีออกแบบตามแบบมาตรฐานของ U.S.B.R. Stilling Basin**(Engineering Monograph No.25) ดำเนินการเช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

(3.2)**กรณีออกแบบเป็น Free Flip Bucket และ Plunge Pool** จาก Design of Small Dam หน้า 385

รัศมีของ Bucket

$$R = \frac{2dv^2}{p}$$

เมื่อ R = รัศมีต่ำสุดของ Bucket, ft.

d = ความลึกของน้ำใน Chute ก่อนถึง Bucket

v = ความเร็วของน้ำใน Chute ก่อนถึง Bucket

p = Normal Dynamic Pressure ที่กระทำต่อพื้น Bucket $\leq 1{,}000 \frac{lb}{ft^2}$

และ R ไม่น้อยกว่า 5d (Design of Small Dams) หน้า 387) Angle of Lip $\theta < 30^0$

Trajectory flow from bucket

$$Y = XTan\ \theta - \frac{X^2}{\left\{K\left|4(d + h_v)\cos^2\theta\right|\right\}}$$

θ = the angle of lip with the horizontal

K = a factor = 0.90

If Y = 0

$$X = 2K(d + h_v)\sin 2\theta$$

Plunge Pool Depth

จาก Design of Small Dams หน้า 402

$$D = 1.32H^{0.225}q^{0.54}$$

เมื่อ D = the ultimate scour depth below tail water level, ft.

H = the elevation drop from reservoir to tail water, ft.

q = the unit discharge, $ft^2/\sec./ft.$

(4) การออกแบบเพื่อป้องกันการกัดเซาะ ต้องออกแบบให้ความเร็วของน้ำเป็น Sub-Critical Flow เพื่อควบคุมการไหลของน้ำก่อนลงลำน้ำเดิม และไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะบริเวณจุดบรรจบ แม้ว่าความเร็วของกระแสน้ำจะถูกลดลงไปแล้วด้วยอาคารท้ายน้ำแต่ก็ยังอาจมีพลังงานพอที่จะพัดพาส่วนที่ป้องกันการกัดเซาะท้ายอาคารได้ ซึ่งต้องกำหนดขนาดของหินเรียงให้โตพอที่จะต้านทานการกัดเซาะได้ ขนาดของหิน ความยาวและความหนาของชั้นหินเรียงหาได้เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

3.6 การออกแบบบานระบาย(Gate)

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

บานระบายคือ องค์ประกอบที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารชลศาสตร์ เพื่อให้อัตราการไหลและระดับน้ำหน้าบานระบายเป็นไปตามความต้องการของการบริหารจัดการน้ำ โดยทั่วไปลักษณะของบานระบายจะเป็นแบบบานตรง(Sluice Gate)และแบบบานโค้ง(Radial or Tainter Gate) การออกแบบต้องสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำที่สุด และที่สำคัญคือ ต้องสามารถระบายน้ำนองสูงสุดที่ออกแบบได้อย่างปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อตัวอาคาร มีความปลอดภัยต่อตัวอาคารในทุกกรณี ทั้งในระหว่างก่อสร้างและภายหลังก่อสร้างแล้วเสร็จและใช้งาน

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการประยุกต์ใช้บานระบายมีดังนี้

(1) สามารถลดผลกระทบจากปัญหาน้ำท่วมพื้นที่ด้านเหนือน้ำของอาคารได้เป็นอย่างดี

(2) สามารถควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำเพื่อการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถระบายปริมาณน้ำนองสูงสุดจากออกแบบทางด้านอุทกวิทยาที่ระดับที่กำหนดไว้

(2) ชนิดของบานระบายจะต้องเหมาะสมกับอาคารชลศาสตร์หลัก

4) การออกแบบบานระบาย

การออกแบบมีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

4.1) บานประตูเหล็กตรง (Vertical Gate) คำนวณหาขนาดล้อบาน สลักล้อและแอก Self Lubricating โดยนำแรงเฉือนมารวมกันในแต่ละช่วง นำแรงเฉือนที่มากสุดมาหาขนาดของล้อบานและอุปกรณ์ตามสูตร Hertz Formula for Line Contact

$$P = 0.418\sqrt{\frac{Pe}{B_0 R}}$$

ซึ่งค่า Hertz's Contact Stress จะต้องไม่เกินค่า Allowable Contact Stress

$$Pa = \frac{100\ H_B}{Zv}$$

คำนวณหาขนาดของช่องบาน แผ่นรองรับล้อบาน (Wheel truck) และคานรองรับล้อบาน (Wheel rail) ตามสูตร Andre's Formula

$$P_C = 0.2813\ p\left(\sqrt[3]{\frac{E_C}{E_S I_X b^2}}\right)$$

โดยที่ค่า $P_C \le 40\ \frac{kg}{cm^2}$

$$P_S = \frac{0.4999\ p}{Z_X}\left(\sqrt[3]{\frac{E_S I_X}{E_C b}}\right)$$

โดยที่ค่า $P_C \le 1200\ \frac{kg}{cm^2}$

ทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักทั้งหมดของตัวบานระบายที่ได้ออกแบบไปแล้ว โดยที่น้ำหนักต่อปริมาตรของเหล็กเหนียว เหล็กหล่อ เพลาและเหล็กกล้าไร้สนิมเท่ากับ 7850 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร.

น้ำหนักยางกันน้ำรั่วต่อความยาว 1.00 เมตร = 15 กิโลกรัม

เมื่อได้น้ำหนักทั้งหมดของตัวบานระบายแล้วจะต้องเผื่อน้ำหนักอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สลักเกลียว ประมาณ 5% ของน้ำหนักบาน

คำนวณหาแรงฝืดเนื่องจากการเลื่อนของล้อบานด้านข้างตามสูตร

$$F_W = \frac{(u_1 + \frac{u_2 d}{2})\, p}{\frac{d}{2}}$$

คำนวณหาแรงฝืดเนื่องจากยางกันน้ำรั่ว

$$F_r = u_r P_b \sum L$$

คำนวณหาน้ำหนักที่ยกเปิดบาน (Opening Load) เพื่อหาขนาด Capacity เครื่องกว้านมีดังนี้

$F_Q =$ น้ำหนักบาน $+ F_W + F_r$ kg.

จากนั้นกำหนดขนาดเครื่องกว้านชนิดลูกม้วน

4.2) เครื่องกว้านบานระบาย (Gate Hoist) เครื่องกว้านบานระบายจะต้องออกแบบไว้ให้สามารถทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของบานระบายให้สามารถเปิด ปิดและคงระดับการเปิดบานให้ได้ตามต้องการ เครื่องกว้านบานระบายนี้ต้องมีความมั่นคงแข็งแรงทนทานต่อสภาพแวดล้อมและการใช้งานมีประสิทธิภาพดี ใช้งานง่าย

4.3) ระบบส่งกำลังและอุปกรณ์เครื่องกว้าน (Hoisting System and Power Supply) เครื่องกว้านบานระบายจะต้องสามารถเปิด ปิด บานระบายได้ด้วยกำลังขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าและสามารถใช้แรงคนเปิด ปิดได้ด้วยเครื่องกว้านนี้ จะมีส่วนประกอบเป็นชุดเฟืองทดที่รับกำลังขับจากเกียร์มอเตอร์ถ่ายทอดกำลังออกจากเพลาขับ 2 ด้าน และกำลังเพลาขับนี้จะส่งไปขับเฟืองลูกม้วนลวด (Drum Gear) ให้หมุนดึงเชือกลวด (Wire Rope) ซึ่งปลายยึดติดอยู่กับหูบานระบาย เป็นการปิดเปิดบานระบาย ในการคงระดับบานระบายไว้ในที่ตำแหน่งใดๆ ในช่วงการปิดเปิดจะมีเบรกสำหรับหยุดและคงระดับบานระบายไว้ที่ตำแหน่งต้องการ โดยชุดเบรกจะติดตั้งไว้กับชุดเฟืองทดหรือมอเตอร์ก็ได้

ในกรณีที่ใช้แรงคนหมุนเครื่องกว้านเพื่อเปิดปิดบานระบายแทนกำลังขับมอเตอร์ไฟฟ้าเครื่องกว้านนี้จะต้องมีกลไกสำหรับตัดต่อกำลังระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากับชุดเกียร์ทดหมุนและอุปกรณ์มือหมุนไว้ด้วย

4.4) ระยะยกบานระบาย เครื่องกว้านบานระบายจะต้องมีความสามารถยกบานระบายจากตำแหน่งที่บานระบายปิดสนิท จนบานระบายสามารถเปิดเต็มที่ได้แล้ว ยังต้องเผื่อระยะยกในกรณีที่ยกบานแขวน (Dogging) เมื่อไม่ใช้งานหรือเพื่อการซ่อมบำรุงบานระบายได้ด้วย

3.7 การออกแบบระบบกระจายน้ำ

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

ระบบกระจายน้ำ หมายถึง ทางน้ำที่จัดสร้างขึ้นเพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำไปสู่พื้นที่รับประโยชน์/พื้นที่เพาะปลูกให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของพืช ตามขนาดพื้นที่เพาะปลูก และตรงตามเวลาที่พืชต้องการ ระบบกระจายน้ำจะมีทั้งระบบปิด ได้แก่ ระบบท่อส่งน้ำ ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ภายใต้แรงดัน และระบบเปิด ได้แก่

ระบบคลองส่งน้ำ ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบกระจายน้ำด้วยคลองส่งน้ำ ซึ่งประกอบด้วยคลองส่งน้ำ และอาคารควบคุมน้ำประเภทต่างๆ ควบคุมน้ำเพื่อให้สามารถส่งน้ำไปตามคลองซึ่งมีความลาดเทไปถึงพื้นที่เพาะปลูกทุกแห่งตามจำนวนที่ต้องการ ทั้งนี้ขนาดของคลองส่งน้ำจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับขนาดของพื้นที่เพาะปลูก

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการประยุกต์ใช้มีดังนี้

(1) เหมาะสมกับพื้นที่รับประโยชน์หรือการใช้สอย สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(2) มีปริมาณน้ำต้นทุนเพียงพอสำหรับความต้องการ

(3) คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำเหมาะสมกับกิจกรรมการใช้น้ำ

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถกระจายน้ำได้อย่างทั่วถึง

(2) มีอาคารควบคุมน้ำได้ทั้งปริมาณและระดับ

(3) มีอาคารระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(4) กรณีที่เป็นท่อแรงดัน ต้องออกแบบให้ปลอดภัยจาก Water Hammer

4) การออกแบบระบบกระจายน้ำ

4.1) ข้อมูลสำหรับการออกแบบ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบระบบกระจายน้ำ ซึ่งข้อมูลทุติยภูมิเท่านั้น ส่วนข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการวิเคราะห์ผู้ออกแบบอาจศึกษาเพิ่มเติมหรือมีหน่วยงานอื่นที่ได้วิเคราะห์ไว้แล้ว ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ประกอบในการพิจารณาคือ

◊ **แผนที่ภูมิประเทศ** ได้แก่ แผนที่แสดงระดับชั้นความสูงของผิวดินในพื้นที่ขอบเขตโครงการและบริเวณใกล้เคียง แสดงตำแหน่งที่ตั้งหัวงานและรายละเอียดต่างๆ ได้แก่ ถนน ลำน้ำ อาคารบ้านเรือน และสิ่งก่อสร้างอื่นๆ ที่มีอยู่ มาตราส่วนที่ใช้ควรเหมาะสมกับงาน เช่น 1:10,000 สำหรับวางแนวระบบกระจายน้ำทั้งพื้นที่โครงการ และ 1:4,000 สำหรับงานออกแบบคลองส่งน้ำ

◊ **ที่ตั้งหัวงาน** ในกรณีที่แหล่งน้ำต้นทุนเป็นน้ำผิวดิน จำเป็นจะต้องทราบตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะของหัวงานด้วยว่าเป็นหัวงานประเภท ฝาย สระเก็บน้ำ หรือสถานีสูบน้ำ ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด และระดับที่ใช้อาคารบังคับได้ รวมถึงปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ได้

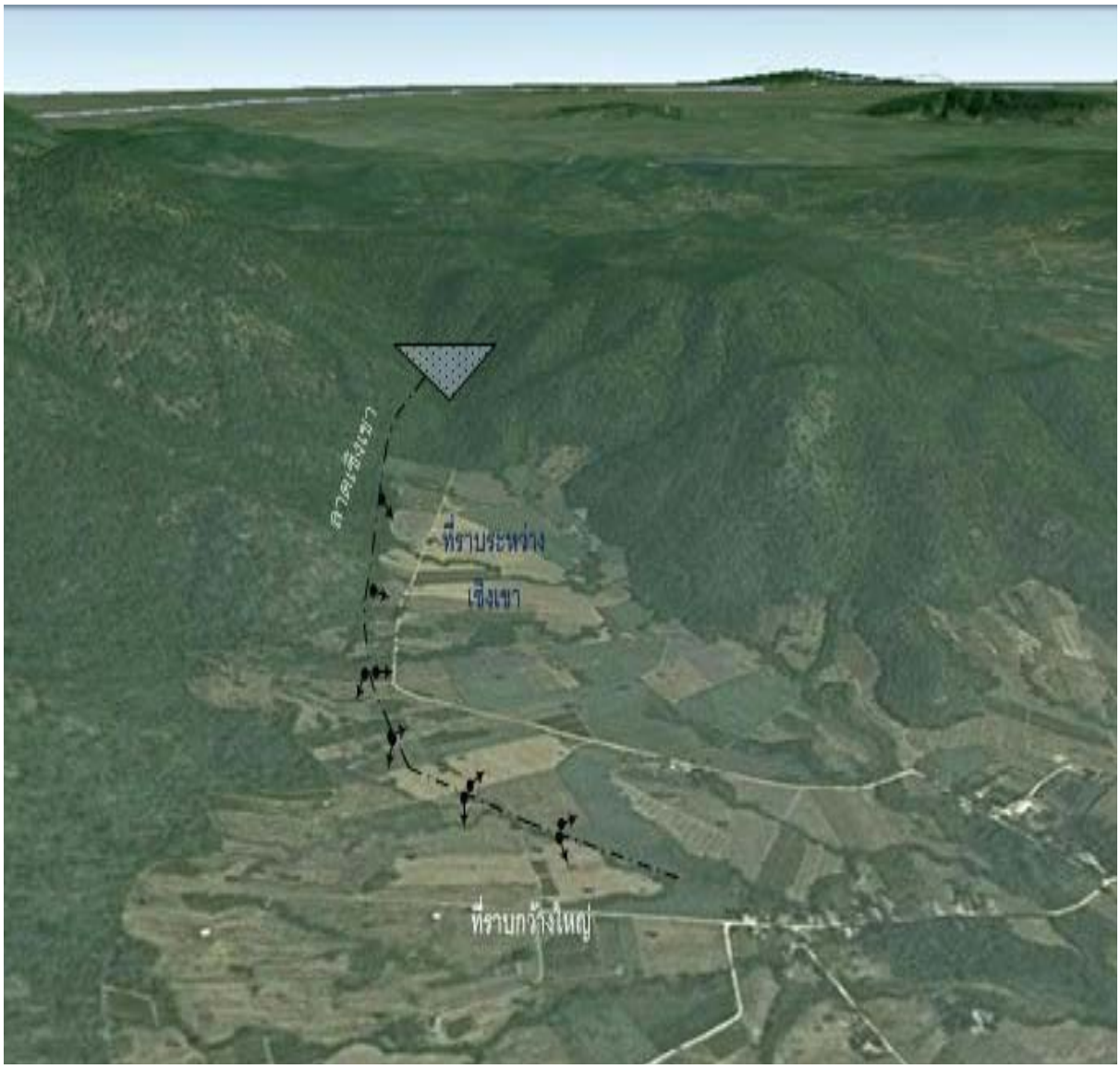
◊ **ความต้องการน้ำของพื้นที่** ผู้ออกแบบต้องทราบถึงปริมาณความต้องการน้ำของพื้นที่สำหรับใช้ในการคำนวณขนาดของคลองส่งน้ำ/ท่อส่งน้ำ เพื่อให้คลองส่งน้ำ/ท่อส่งน้ำแต่ละสายมีขนาดที่เหมาะสม สามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่รับประโยชน์ได้เพียงพอกับความต้องการ

4.2) การวางแนวระบบกระจายน้ำ หลักสำคัญในการวางแนวระบบกระจายน้ำ ก็คือ ต้องพยายามให้คลองวางอยู่ในแนวที่จะทำให้น้ำไหลออกจากคลองไปสู่พื้นที่เพาะปลูกหรือคลองที่มีขนาดเล็กกว่าได้สะดวก นั่นก็คือ จะต้องพยายามให้คลองวางอยู่ในแนวซึ่งมีระดับสูงที่สุดในเขตส่งน้ำที่คลองรับผิดชอบ ทั้งนี้จะทำได้แค่ไหนขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน ดังรูปคือ

◊ **บริเวณที่ราบระหว่างเชิงเขา** ลักษณะพื้นที่เพาะปลูกซึ่งมักจะมีแนวยาวและมีความลาดเทจากเชิงเขาหรือเนินลงมาหาทางน้ำซึ่งอยู่ตรงกลาง ดังนั้น แนวคลองก็จะวางให้ไต่ลัดเลาะไปตามแนวเส้นขอบ

เนินซึ่งเป็นขอบบนของบริเวณที่ราบซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่รับน้ำ ส่วนแนวคลองจะอยู่ไกลจากทางน้ำซึ่งอยู่ตรงกลางมากเท่าใดนั้น ขึ้นอยู่กับระดับน้ำใช้การของหัวงานและความลาดเทตามยาวของคลองที่เลือกใช้

◊ **บริเวณที่ราบกว้างใหญ่** แนวคลองส่งน้ำในพื้นที่ที่เป็นที่ราบกว้างใหญ่จะต้องอยู่ในแนวที่มีระดับพื้นที่สูงสุดเช่นเดียวกับในกรณีแรก แต่ในกรณีนี้จะวางอยู่ในแนวสันเนินหลักของพื้นที่ ซึ่งทำให้คลองตัดตั้งฉากกับแนวเส้นขอบเนิน การส่งน้ำสามารถทำได้ทั้งสองฝั่งคลอง



รูปแสดงลักษณะภูมิประเทศทั่วไป

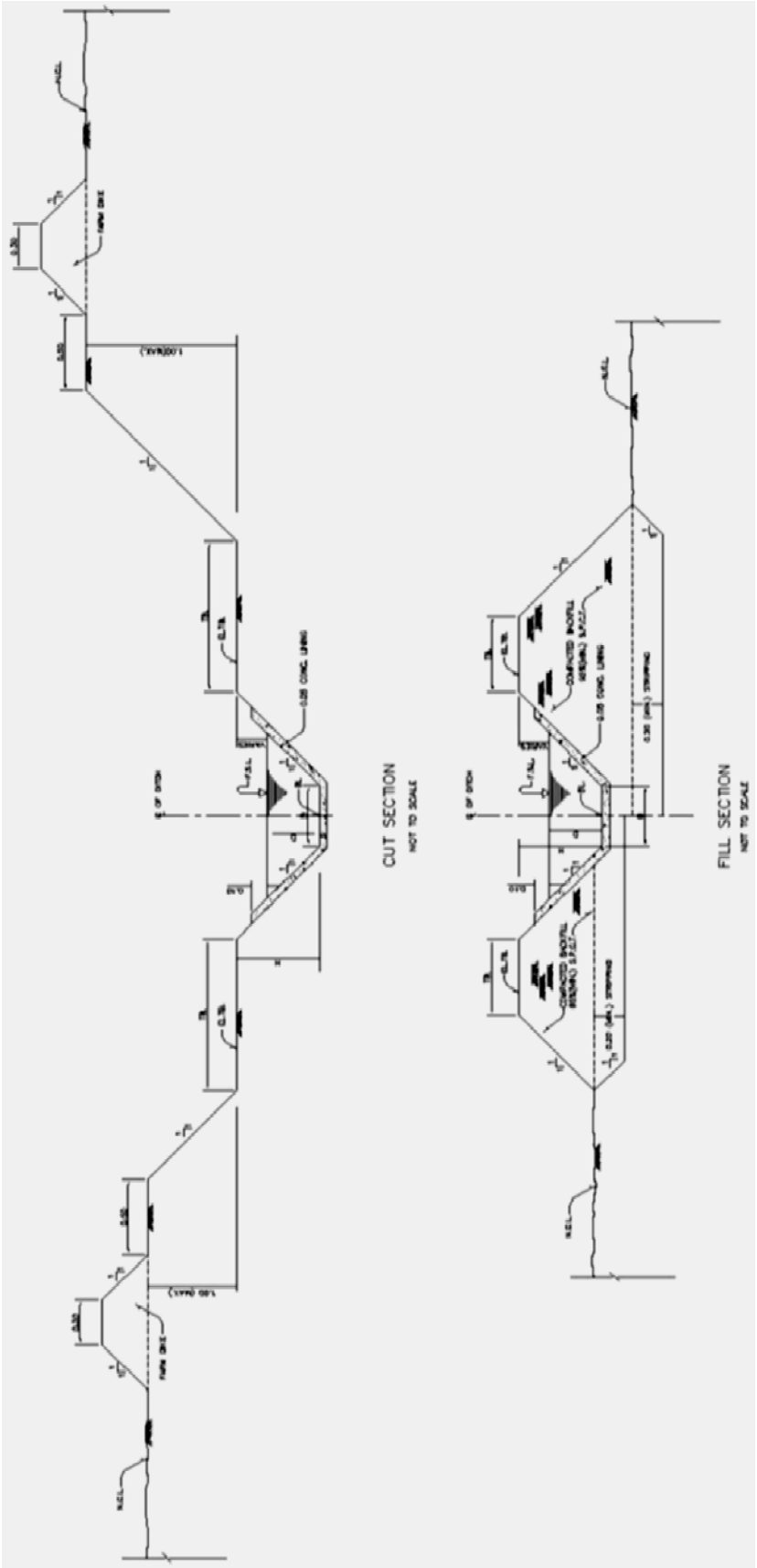
4.3) การออกแบบคลองส่งน้ำ คลองส่งน้ำจะต้องมีขนาด และรูปร่างที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถส่งได้ตามปริมาณที่กำหนด การออกแบบคลองส่งน้ำเป็นการกำหนดขนาด หรือสัดส่วนของคลองส่งน้ำให้สามารถได้ตามปริมาณน้ำที่กำหนด

◊ **ส่วนสัดของคลองส่งน้ำ** รูปตัดขวางทั่วไปคลองส่งน้ำนั้นส่วนสัดของคลองส่งน้ำที่จะต้องพิจารณามีดังนี้

o ลาดผิวน้ำในคลอง (water surface slope in canal)

o รูปตัดขวางของคลอง (cross section of canal) ซึ่งประกอบด้วย

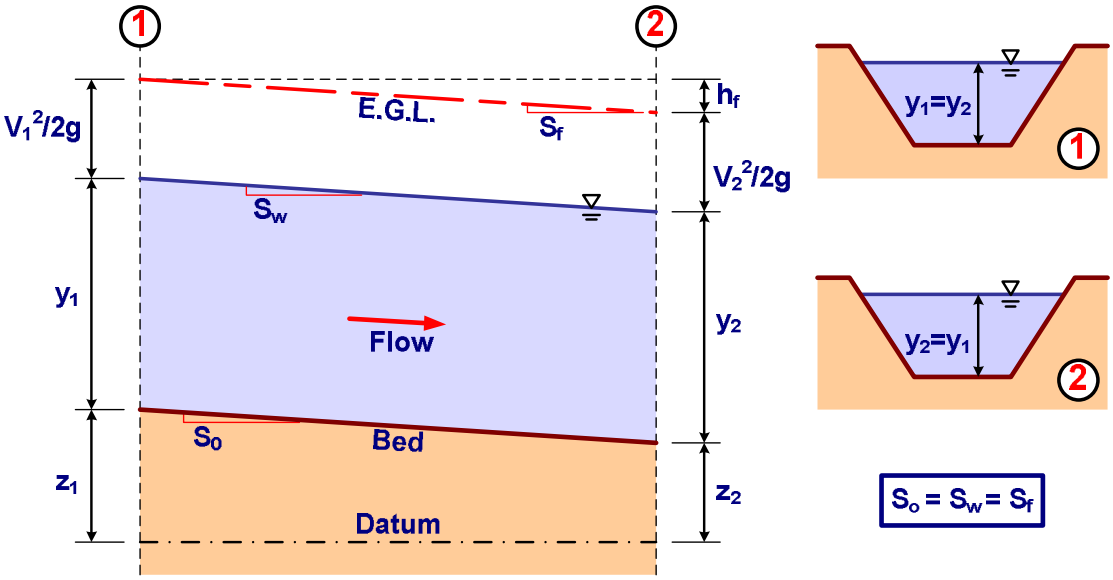
- ความกว้างของก้นคลอง (bed width of canal = b)
- ความลึกของน้ำในคลอง (depth of water in canal = d)
- ระยะพ้นน้ำ(free board)
- ลาดตลิ่งคลอง (side slopes of canal = SS) โดยทั่วไปคลองดาดคอนกรีตใช้ 1:1 ถึง 1:1.5
- คันคลอง (embankments)
- เขตคลอง (right-of-way)



Typical concrete lining canal

รูปตัดทั่วไปคลองส่งน้ำ

◊ **การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลอง** ลาดผิวน้ำ (S)เป็นสิ่งสำคัญและมีอิทธิพลที่จะทำให้น้ำไหลไปได้ด้วย แรงโน้มถ่วงของโลก ไม่มีลาดผิวน้ำ น้ำจะไม่ไหล ถ้าลาดผิวน้ำยิ่งชันน้ำจะยิ่งไหลแรงขึ้น ถ้ายิ่งราบก็จะยิ่งไหลช้าลง ตามปกติในการออกแบบคลองส่งน้ำจะกำหนดให้การไหลของน้ำในคลองเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform flow) นั่นคือ ลาดก้นคลอง (S_O) ขนานกับลาดผิวน้ำ (S_W) และขนานกับลาดเส้นพลังงาน (S_f) หรือ $S_O = S_W = S_f$ ดังรูป



รูปแสดงการไหลแบบสม่ำเสมอ(Uniform flow)

นอกจากนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกลาดผิวน้ำ คือ สภาพภูมิประเทศ การเลือกลาดผิวน้ำที่มีความลาดชันมากกว่าความลาดของพื้นที่จะทำให้ระดับน้ำในคลองส่งน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นดิน เป็นผลให้ไม่สามารถส่งน้ำให้กับพื้นที่รับประโยชน์ได้อย่างทั่วถึง แต่การกำหนดให้ลาดผิวน้ำราบกว่าความลาดของพื้นที่ตามแนวคลอง ระดับก้นคลองส่งน้ำจะอยู่สูงกว่าระดับพื้นดินเดิมมาก จำเป็นต้องถมดินเพื่อก่อสร้างคลอง ทำให้ต้องเสียค่าก่อสร้างมาก

ทั้งนี้ ในคลองไม่จำเป็นต้องมีค่าเดียวกันตลอดคลอง จะชันในบางตอนแล้วราบในบางตอนก็ได้ เช่น ตอนต้นคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1:8,000 ตอนกลางคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1:10,000 และตอนปลายคลองใช้ลาดผิวน้ำ 1:12,000 เช่นนี้ก็ได้ แต่ถ้าสามารถทำได้แล้วควรใช้ลาดผิวน้ำในคลองค่าเดียวกันตลอดคลอง

กล่าวได้ว่า การเลือกใช้ลาดผิวน้ำในคลองไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน ทั้งนี้แล้วแต่

- ลาดพื้นดินตามแนวคลองส่งน้ำ
- ลักษณะและปริมาณของตะกอนที่ไหลมากับน้ำ
- ลักษณะเนื้อดินตามแนวคลองที่น้ำจะพัดพาไปได้ กรณีออกแบบเป็นคลองดิน
- ดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

◊ **การพิจารณารูปตัดขวางของคลองส่งน้ำ** สัดส่วนรูปตัดขวางของคลองที่สำคัญต่อการส่งน้ำประกอบด้วย

- ความกว้างของก้นคลอง (b)

- ความลึกของน้ำในคลอง (d)
- ลาดตลิ่งคลอง (SS)

ความกว้างของก้นคลอง (b) และความลึกของน้ำในคลอง (d) มีความสำคัญมากและเกี่ยวกับ hydraulic properties ของคลอง การเลือกใช้ความกว้างของก้นคลอง (b) และความลึกของน้ำในคลอง (d) สำหรับปริมาณน้ำ (Q) ค่าหนึ่งๆ นั้น สามารถเลือกได้หลายสัดส่วน

◊ **การออกแบบรูปตัดของคลอง** จากแผนที่วางแนวระบบกระจายน้ำ ผู้ออกแบบจะทราบขนาดของพื้นที่รับผิดชอบของคลองส่งน้ำแต่ละสาย เมื่อทราบความต้องการน้ำของพื้นที่ จะได้ว่า ปริมาณน้ำที่ต้องส่งในคลองแต่ละสายจะเป็นเท่าไร ในการออกแบบรูปตัดขวางของคลองส่งน้ำนั้นจะต้องคำนวณอัตราเร็วของน้ำในคลอง (V) ก่อน เมื่อเอาอัตราเร็วของน้ำคูณกับเนื้อที่รูปตัดขวางของคลองที่น้ำไหลผ่าน (A) ก็จะได้ปริมาณน้ำที่ไหลในคลอง (Q) นั่นคือ

$$Q = AV$$

อัตราเร็วของน้ำในคลองมีความสัมพันธ์กับลาดผิวน้ำในคลอง ดังจะเห็นได้จาก Manning's formula ซึ่งใน ค.ศ. 1889 นายช่างไอริชผู้หนึ่งชื่อ Robert Manning ได้คิดสูตรนี้ขึ้น ซึ่งต่อมาได้รู้จักกันแพร่หลาย โดยมีรูปสมการดังนี้

$$V = 1/n\ R^{2/3}\ S_f^{1/2}$$

เมื่อ V = อัตราเร็วเฉลี่ยของน้ำในทางน้ำเปิด เป็น เมตร/วินาที
n = roughness coefficient ซึ่งเรียกทั่วไปว่า "The Manning's n"
R = hydraulic radius เป็น เมตร
= A/P
A = เนื้อที่รูปตัดขวางของทางน้ำเปิดที่น้ำไหลผ่านเป็น เมตร^2
P = wetted perimeter เป็น เมตร
S_f = slope of energy grade line

◊ **การออกแบบคลองดาดคอนกรีต**(Concrete Lining Channel Design) การออกแบบคลองส่งน้ำดาดคอนกรีตก็เริ่มจากการพิจารณาคัดเลือกหน้าตัด ขนาด และความลาดชันท้องทางน้ำให้พอเพียงที่จะทำให้ปริมาณน้ำออกแบบไหลผ่านได้ด้วยระยะเผื่อล้น (Freeboard) ที่เหมาะสม U.S. Bureau of Reclamation เสนอแนะให้ใช้ระยะเผื่อล้นจากสมการ

$$F_b = \sqrt{ky}$$

เมื่อ F_b = ระยะเผื่อล้น (Freeboard) , เมตร
y = ความลึกของน้ำ, เมตร
k = สัมประสิทธิ์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.8 สำหรับปริมาณน้ำประมาณ 0.5 ลบ.ม.ต่อวินาที และ 1.4 สำหรับปริมาณน้ำประมาณ 85 ลบ.ม.ต่อวินาที

ส่วน Central Board of Irrigation and Power ของประเทศอินเดีย (Raju, 1983) แนะนำให้ใช้ ระยะเผื่อล้น ดังรายละเอียดในตาราง

ระยะเผื่อล้นที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	< 1.5	1.5 ถึง 85	> 85
ระยะเผื่อล้น (เมตร)	0.50	0.75	0.90

◊ **การออกแบบคลองดิน** (Erodible Channel Design) วิธีการออกแบบที่นิยมใช้กับประกอบด้วย

(1) วิธีแรงเฉือน (Tractive Force) ทางน้ำจะถูกกัดเซาะถ้าแรงลัพท์ที่จะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่มีค่ามากกว่าแรงต้านการเคลื่อนที่ แรงที่เกิดจากการไหลของน้ำบนท้องน้ำและลาดตลิ่งมักเรียกว่า แรงเฉือน ซึ่งเกิดจาก Shear Stress ของการไหลแบบราบเรียบ แรงนี้จะเท่ากับส่วนของน้ำหนักน้ำที่กระทำในทิศทางการไหล

ทางน้ำที่มีความลาดชันท้องน้ำเท่ากับ S_o น้ำหนักของน้ำในช่วงความยาว L เท่ากับ $\gamma_w AL$ เมื่อ A เท่ากับพื้นที่หน้าตัดการไหล ดังนั้นส่วนของน้ำหนักน้ำที่กระทำในทิศทางการไหลเท่ากับ $\gamma_w ALS_o$(γ_w เท่ากับน้ำหนักจำเพาะของน้ำ) เทื่อการไหลเป็นแบบราบเรียบ แรงนี้จะเท่ากับแรงเฉือนที่กระทำตลอดเส้นขอบเปียก(P) ดังนั้น Unit Shear Stress (τ_o) เขียนสมการได้ดังนี้

$$\tau_o = \gamma_w ALS_o/PL = \gamma_w RS_o$$

การกระจายตัวของแรงเฉือนตลอดเส้นขอบเปียกไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นLane(1955) ได้ประมาณค่าสำหรับทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมูได้ดังนี้

ที่ท้องน้ำ ; $\tau_o = \gamma_w RS_o$ หรือเท่ากับ $\gamma_w yS_o$ เมื่อทางน้ำกว้างมาก

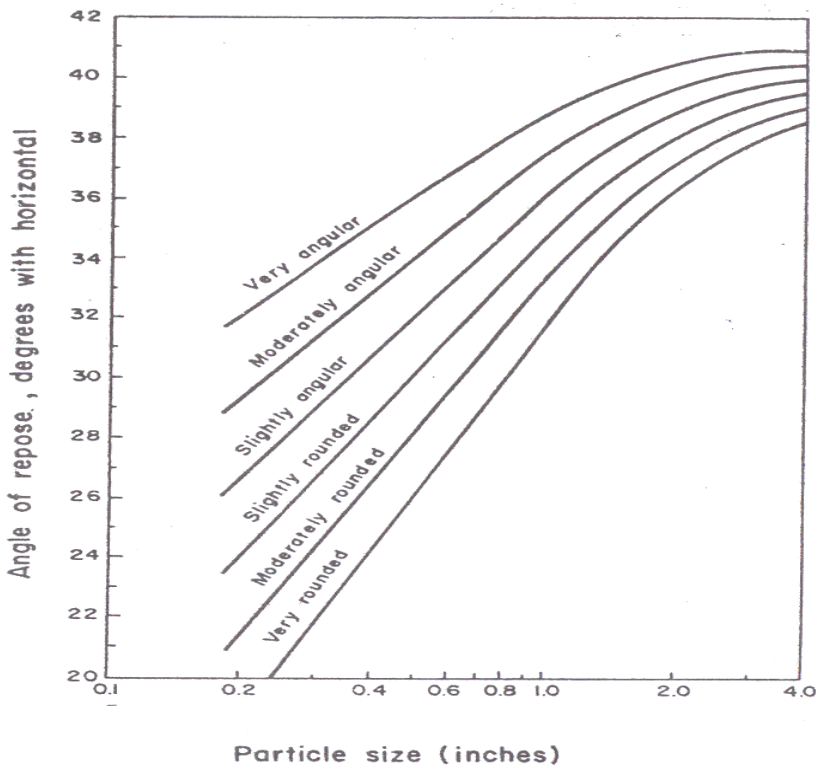
ที่ลาดตลิ่ง ; $\tau_S = 0.76\ \gamma_w RS_o$ หรือเท่ากับ $0.76\ \gamma_w yS_o$ เมื่อทางน้ำกว้างมาก

Shear Stress ที่วัสดุท้องน้ำจะเคลื่อนที่จากสภาวะหยุดนิ่ง เรียกว่า Critical Stress (τ_c) โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุท้องน้ำ ซึ่งอยู่ในรูปของ Internal Friction Angles หรือ Angle of Repose และความเข้มข้นของตะกอนในน้ำ หาค่าได้จากรูปข้างล่าง ค่า Reduction Factor ของ Critical Stress ที่กระทำบนลาดตลิ่ง อาจหาได้จากสมการ

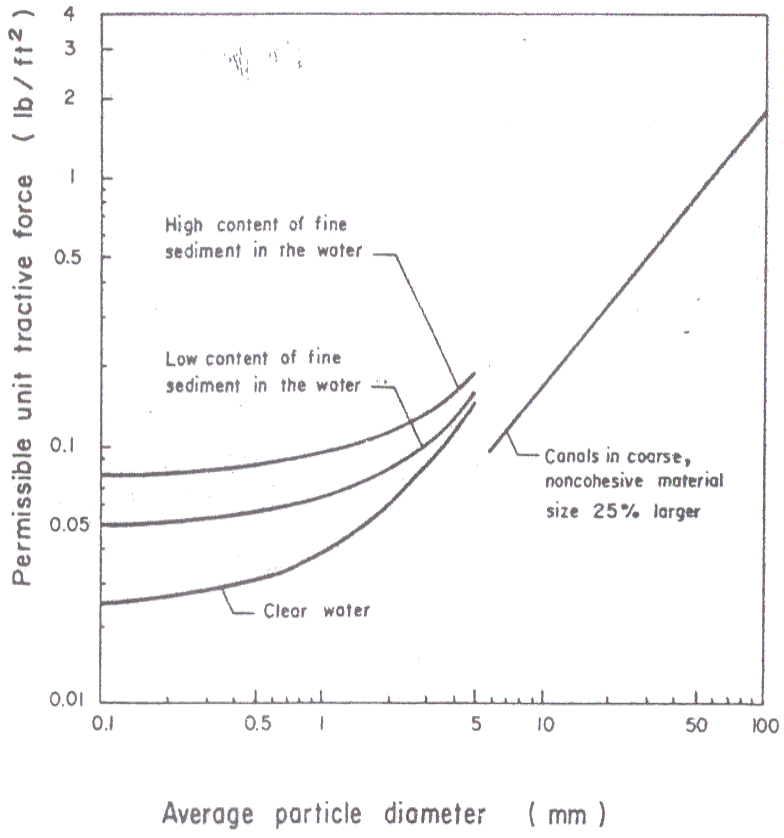
$$K = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\theta}{\sin^2\phi}}$$

เมื่อ θ = มุมเอียงของลาดตลิ่ง

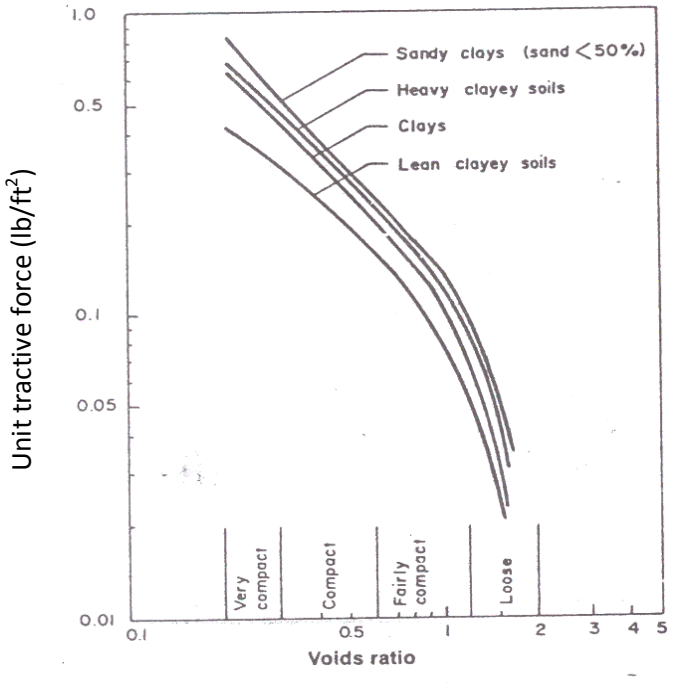
$\varnothing$ = มุม Internal Friction ของอนุภาคหรือ Angles of Repose



Angles of Repose ของ Non-cohesive Materials



Permissible Shear Stress ของ Non-cohesive Materials



Permissible Shear Stress ของ Cohesive Materials

(2) วิธีความเร็วสูงสุดที่ยอมรับได้ (Permissible Velocity) การออกแบบทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ผู้ออกแบบต้องเลือกความลาดชันด้านข้างที่เหมาะสมอันจะทำให้ความลาดเอียงด้านข้างของทางน้ำมีความมั่นคงในทุกเงื่อนไขดังแสดงรายละเอียดในตาราง

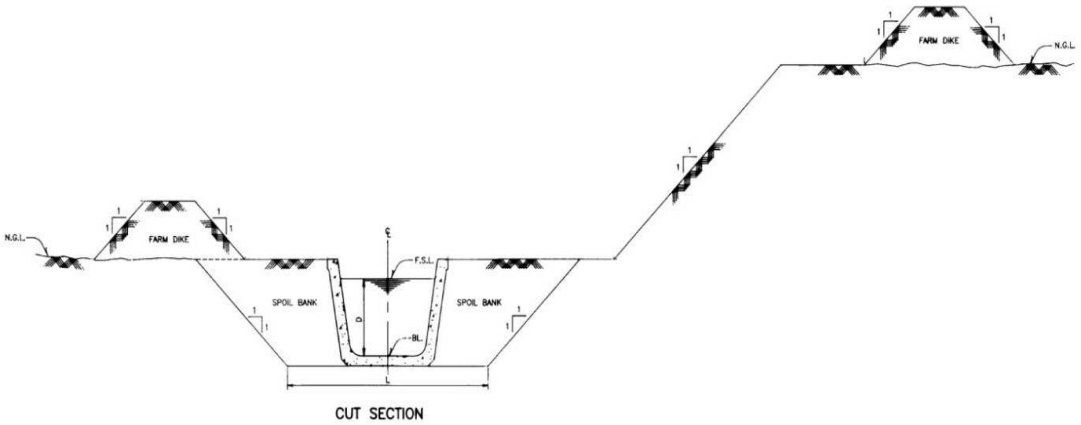
ความลาดเอียงด้านข้างของทางน้ำที่เหมาะสมสำหรับวัสดุต่าง ๆ

วัสดุ	ความลาดเอียงด้านข้าง
Rock	Nearly vertical
Stiff clay	½ : 1 to 1:1
Firm soil	1:1
Loose sandy soil	2:1
Sandy loam	3:1

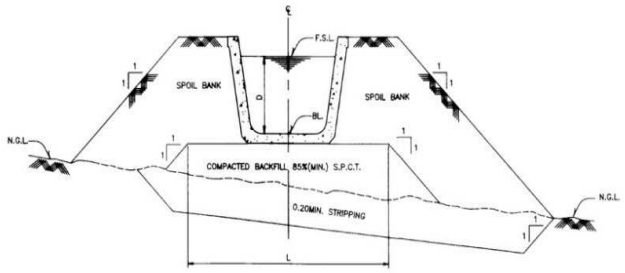
Maximum Permissible Velocities และค่าสัมประสิทธิ์ของความขรุขระของวัสดุต่าง ๆ

Meterials	N	Clear water				Water transporting colloidal silts			
		v (ft/s)	τ_o (lb/ft^2)	v (m/s)	τ_o (N/m^2)	v (ft/s)	τ_o (lb/ft^2)	v (m/s)	τ_o (N/m^2)
Fine sand, non-colloidal	0.020	1.50	0.027	0.457	1.29	2.50	0.075	0.762	3.59
Sandy loam, non-colloidal	0.020	1.75	0.037	0.533	1.77	2.50	0.075	0.762	3.59
Silt loam, non-colloidal	0.020	2.00	0.048	0.610	2.30	3.00	0.11	0.914	5.27
Alluvial silts, non-colloidal	0.020	2.00	0.048	0.610	2.30	3.50	0.15	1.07	7.18
Ordinary firm loam	0.020	2.50	0.075	0.762	3.59	3.50	0.15	1.07	7.18
Volcanic ash	0.020	2.50	0.075	0.762	3.59	3.50	0.15	1.07	7.18
Stiff clay, very colloidal	0.025	3.75	0.260	1.140	12.40	5.00	0.46	1.52	22.00
Alluvial silts, colloidal	0.025	3.75	0.260	1.140	12.40	5.00	0.46	1.52	22.00
Shales and hardpans	0.025	6.00	0.670	1.830	32.10	6.00	0.67	1.83	32.10
Fine gravel	0.020	2.50	0.075	0.762	3.59	5.00	0.32	1.52	15.30
Graded loam to cobbles when noncolloidal	0.030	3.75	0.380	1.140	18.20	5.00	0.66	1.52	31.60
Graded silts to cobbles when colloidal	0.030	4.00	0.430	1.220	20.60	5.50	0.80	1.68	38.30
Coarse gravel noncolloidal	0.025	4.00	0.300	1.220	14.40	6.00	0.67	1.83	32.10
Cobbles and shingles	0.035	5.00	0.910	1.520	43.60	5.50	1.10	1.68	52.70

4.4) การออกแบบคลองส่งน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวยู (U Shape) คลองส่งน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวยู (U Shape) เป็นอาคารชลประทานที่ใช้ลำเลียงน้ำอีกรูปแบบหนึ่ง ในระบบชลประทานระดับไร่นา มีประสิทธิภาพในการลำเลียงน้ำสูง เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมของน้ำน้อย การสร้างคลองส่งน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวยูนี้ ทำได้ 2 วิธี คือ จะหล่อตัวรางเพื่อเป็นคลองส่งน้ำโดยเทคอนกรีตลงในแบบ ณ ที่ก่อสร้าง (Cast in Place) หรือจะหล่อตัวรางไว้ก่อนเป็นท่อนๆ (Precast Units) ก็ได้ แล้วจึงนำไปประกอบกัน ณ สถานที่ก่อสร้าง การสร้างรางน้ำคอนกรีตโดยใช้ Precast Units มีข้อดีอยู่ประการหนึ่งคือเมื่อรางท่อนใดชำรุดจะซ่อมแซมได้ง่ายและรวดเร็ว คือ หยุดการส่งน้ำผ่านรางเสียชั่วขณะแล้วรีบนำเอารางส่วนที่หล่อไว้แล้วไปเปลี่ยนท่อนที่ชำรุด การออกแบบคลองส่งน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวยู(U Shape) สามารถเลือกให้คลองวางอยู่ได้ทั้งในดินขุดและดินถมดังตัวอย่างที่แสดงในรูป



CUT SECTION



FILL SECTION

แสดงตัวอย่างคลองส่งน้ำ คสล. รูปตัวยูที่วางอยู่ในดินฐานรากที่เป็นดินขุดและดินถม

การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design) การไหลของน้ำในคลองส่งน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวยู จะมีพฤติกรรมการไหลแบบทางน้ำเปิด (Open Channel Flow) ในการออกแบบจะต้องทราบปริมาณน้ำที่ต้องส่งก่อน แล้วจึงคำนวณหาขนาดหน้าตัดของคลองส่งน้ำ ตามรายละเอียดต่อไปนี้

- การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของคลองเมื่อทราบอัตราการส่งน้ำโดยสมการ

$$Q = A \cdot V$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล, ลบ.ม./วินาที
A = พื้นที่ของการไหล, ตร.ม.
V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล, ม./วินาที

- คำนวณหาขนาดคลอง

$$A = b \cdot d$$

เมื่อ A = พื้นที่ของการไหล, ม.
b = ความกว้างของท้องคลอง, ม.
d = ความลึกของน้ำ, ม.

หลังจากได้ขนาดของคลองแล้วต้องตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำจากสูตรของ Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

เมื่อ V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล, ม./วินาที

การก่อสร้างคลองส่งน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก ควรกำหนดให้มีรอยต่อคอนกรีตทุกระยะไม่เกิน 8 เมตร พร้อมติดตั้งแผ่นยางกันน้ำซึม(Rubber Water stop)

4.5) การออกแบบท่อส่งน้ำ

ผู้ออกแบบต้องทราบถึงปริมาณความต้องการน้ำของพื้นที่ สำหรับใช้ในการคำนวณขนาดของท่อส่งน้ำภายใต้แรงดัน เพื่อให้ท่อส่งน้ำแต่ละสายมีขนาดที่เหมาะสม สามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่รับประโยชน์ได้เพียงพอกับความต้องการขั้นตอนการออกแบบประกอบด้วย

- คำนวณพื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ เมื่อทราบอัตราการส่งน้ำโดยสมการ

$$Q = A \cdot V$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล, ลบ.ม./วินาที

A = พื้นที่ของการไหลเต็มท่อ, ตร.ม. = $\frac{\pi D^2}{4}$

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ, ม.

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ, ม./วินาที(1.5 ม./วินาที - 2.4 ม./วินาที)

- คำนวณความสูญเสียพลังงานในเส้นท่อทั้งระบบ

◊ การสูญเสียหลัก(Major Loss) โดยสมการของ Darcy - Weisbach

$$h_f = fLV^2/2gD$$

$$S_f = h_f/L = 8fQ^2/(\pi^2 g D^5)$$

เมื่อ h_f = การสูญเสียหลัก, ม.

λ หรือ f = แฟคเตอร์ของความเสียดทานจาก Moody Diagram

L = ความยาวท่อ, ม.

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, 9.81 ม./วินาที2

Q = อัตราการไหล, ลบ.ม./วินาที

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งน้ำ, ตร.ม.

◊ การสูญเสียหลัก(Major Loss) โดยสมการของ Hazen – Williams

SI Units: $V = 0.849CR^{0.63}S_f^{0.54}$

$$S_f = 10.7Q^{1.85}/(C^{1.85}D^{4.87})$$

U.S. Customary Units:

$$V = 1.318CR^{0.63}S_f^{0.54}$$

$$S_f = 4.73Q^{1.85}/(C^{1.85}D^{4.87})$$

เมื่อ C = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Hazen – Williams

◊ การสูญเสียหลัก(Major Loss) โดยสมการของ Manning

สำหรับน้ำไหลเต็มท่อ R = รัศมีชลศาสตร์ = D/4 จะได้

SI Units: $V = (0.397/n)D^{2/3}S_f^{1/2}$

$$S_f = 10.3n^2Q^2/(D^{16/3})$$

U.S. Customary Units:

$$V = (0.590/n)D^{2/3}S_f^{1/2}$$

$$S_f = 4.66n^2Q^2/(D^{16/3})$$

เมื่อ n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

◊ การสูญเสียรอง(Minor Loss)

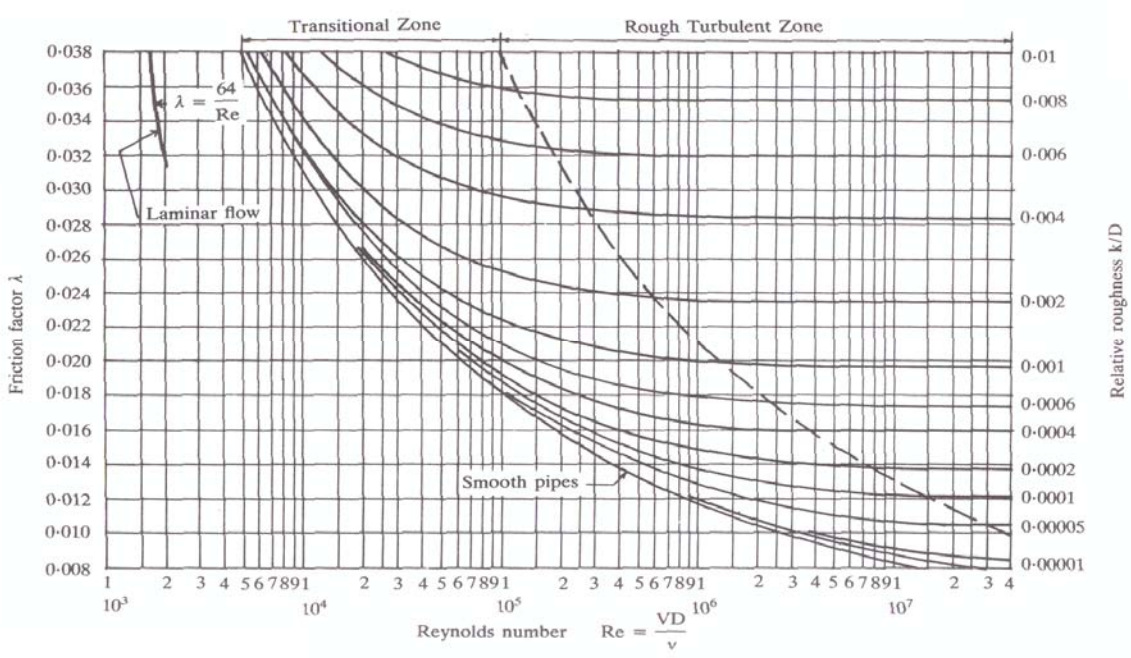
$$h_m = KV^2/2g$$

เมื่อ h_m = การสูญเสียรอง, ม.

K = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย

● คำนวณลาดชลศาสตร์(Hydraulic Grade Line), HGL

HGL = (การสูญเสียหลัก+การสูญเสียรอง)/L



Moody Diagram

● คำนวณค่า Water Hammer

Water Hammer เกิดจากการเปิดและปิดประตูน้ำ(ปิดสนิทหรือบางส่วน) การเริ่มต้นและหยุดเครื่องสูบน้ำ ฯลฯ

◊ ความเร็วคลื่นความดัน

$$c = 1{,}425/(1+BD/Et)^{1/2} \quad (4{,}660/(1+BD/Et)^{1/2} \text{หน่วยอังกฤษ})$$

เมื่อ c = ความเร็วคลื่นแรงดัน, เมตร/วินาที (ฟุต/วินาที)

B = Bulk Modulus ของน้ำ, 2.07×10^8 กิโลกรัม/ตารางเมตร (300,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ, มิลลิเมตร (นิ้ว)

E = Modulus of Elasticity ของท่อ, กิโลกรัม/ตารางเมตร (ปอนด์/ตารางนิ้ว)

t = ความหนาของท่อ, มิลลิเมตร (นิ้ว)

◊ ความดัน Water Hammer

P = cV/10g (cV/2.31g หน่วยอังกฤษ)

เมื่อ P = ความดัน Water Hammer, กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (ปอนด์/ตารางนิ้ว)

V = ความเร็วที่แปรรูปสูงสุด, เมตร/วินาที (ฟุต/วินาที)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, 9.81 เมตร/วินาที^{2} (32.2ฟุต/วินาที^{2})

- คำนวณชั้นคุณภาพของท่อ

แรงดันสูงสุดของท่อแต่ละสาย = Water Hammer + Pressure Head

โดยใช้ Factor of Safety = 1.5

- เกณฑ์การกำหนดตำแหน่งของอาคารประกอบของระบบท่อส่งน้ำ

อาคารระบายอากาศ ติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่ท่อเป็นโค้งคว่ำ(เมื่อท่อส่งน้ำก่อสร้างข้ามทางน้ำ)

อาคารระบายตะกอน ติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่ท่อเป็นโค้งหงายหรือตำแหน่งที่ท่ออยู่ต่ำสุด(เมื่อท่อส่งน้ำก่อสร้างลอดอุปสรรคที่ขวางทางอยู่)

ประตูบังคับน้ำ ติดตั้ง ณ ตำแหน่งเริ่มต้นของท่อสายหลัก ท่อสายรอง ท่อสายซอยและตำแหน่งหลังจุดที่มีการก่อสร้างท่อแยก

อาคารบ่อพักน้ำ/จุดปล่อยน้ำ ติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่มีระดับสูงกว่าพื้นที่เพาะปลูกและสามารถกระจายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.6) การออกแบบเครื่องสูบน้ำ

การคัดเลือกใช้เครื่องสูบน้ำสำหรับงานเฉพาะจะขึ้นอยู่กับโค้งเดินระบบ(System Head Curve) และคุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ(Pump Performance Curve)ว่าจะเข้าได้หรือไม่

- การวิเคราะห์ความต้องการความสูงของการสูบน้ำและปริมาณน้ำของระบบ(System Head Discharge Requirement)หรือเรียกว่าโค้งเดินระบบ (System Head Curve) สำหรับเครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (Free Surface) เขียนสมการได้ดังนี้

$$H_P = \Delta Z + H_f + H_m$$

หรือ $$H_P = \Delta Z + CQ^2$$

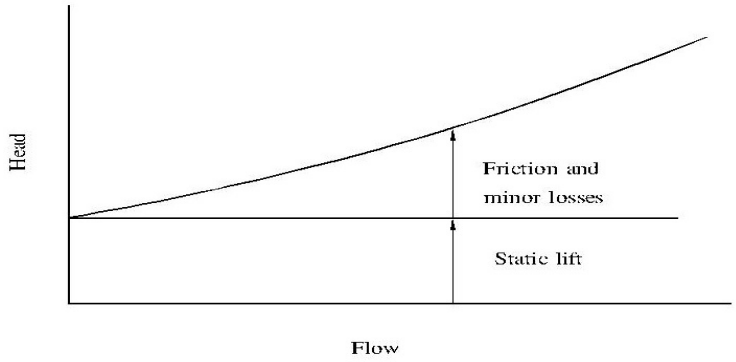
เมื่อ $C = K_f +$ $K_m = \Sigma(fL/2gdA^2 + K_m/2gA^2)$

Static Head = ΔZ = ระดับน้ำสูงสุดด้านส่ง – ระดับน้ำต่ำสุดด้านดูด

การสูญเสียหลัก(Major Loss)ในท่อส่งน้ำ = $h_f = fLV^2/2gD$

การสูญเสียรอง(Minor Loss)ของอุปกรณ์ = $h_m = KV^2/2g$

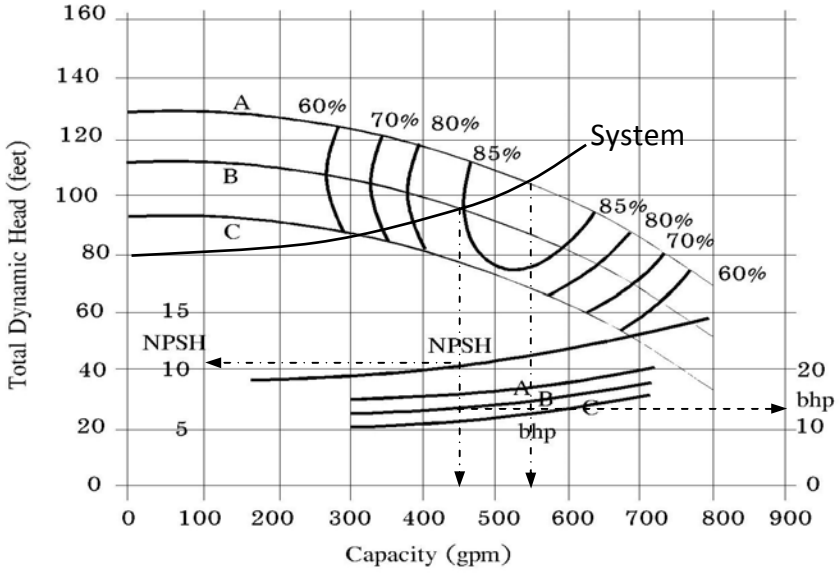
Head รวมของเครื่องสูบน้ำ H_p = Static Head + h_f + h_m



ลักษณะทั่วไปของโค้งเดินระบบ(System Head Curve)

● การคัดเลือกเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมกับโค้งเดินระบบ (System Head Curve) เครื่องสูบน้ำส่วนใหญ่แล้วจะเดินระบบด้วยอัตราการไหลของน้ำเป็นช่วง ตามการเปลี่ยนแปลงของความต้องการน้ำหรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในบ่อสูบหรือบ่อส่ง หรือการเปลี่ยนแปลงการสูญเสียจากความฝืดหรือ Minor Losses เพื่อความยืดหยุ่นและความน่าไว้วางใจจึงนิยมใช้เครื่องสูบน้ำหลายเครื่องมาต่อแบบขนานกัน ถ้าต้องการแรงดันที่สูงก็ใช้เครื่องสูบน้ำหลายเครื่องมาต่ออนุกรมกัน

ในการออกแบบและคัดเลือกเครื่องสูบน้ำผู้ออกแบบนิยมคัดเลือกเครื่องสูบน้ำหลายยี่ห้อจากบริษัทผู้ผลิตหลายราย เพื่อจะได้เครื่องสูบน้ำที่มีจุดออกแบบ(Design Point) ใกล้กับจุดเดินระบบ(Operating Point) และนั่นทำให้สามารถเดินระบบที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบตลอดช่วงการเดินระบบดังรูป



แรงม้าของมอเตอร์ = $HP = QH/273e_pe_m$

เมื่อ Q = อัตราการสูบน้ำ, ลบ.ม./ชั่วโมง

H = Head รวมของเครื่องสูบน้ำ, **ม.**

e_p = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

e_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์

● การคำนวณหา Net Positive Suction Head Available ($NPSH_a$) คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมเมื่อเดินระบบแล้วจะต้องไม่เกิด Cavitation โดยที่เครื่องสูบน้ำเมื่อเกิด Cavitation อันเนื่องมาจาก Suction Pressure ลดลง จะทำให้เกิดความเสียหายจากการกัดกร่อนตัวเครื่องสูบน้ำและส่วนอื่น ๆ อันจะทำให้คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำ(Pump Performance) ประสิทธิภาพลดลงต่อไป ขณะเดียวกันก่อนเกิด Cavitation จะเกิดฟองอากาศขึ้น ซึ่งถ้ามีมากก็จะทำให้คุณลักษณะของเครื่องสูบน้ำประสิทธิภาพลดลงเช่นเดียวกัน

ความดันที่ต้องการทางด้านท่อดูดของเครื่องสูบน้ำเพื่อป้องกันการเกิด Cavitation เรียกว่า Net Positive Suction Head Required ($NPSH_r$) ซึ่งหาค่าได้โดยทำการทดสอบเครื่องสูบน้ำ(Pump Test) ในการออกแบบเครื่องสูบน้ำนั้นผู้ออกแบบจะต้องคำนวณหาค่า Net Positive Suction Head Available($NPSH_a$) ซึ่งค่าที่ได้จะต้องมากกว่า $NPSH_r$ เสมอ

สำหรับเครื่องสูบน้ำที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำที่มีผิวน้ำสัมผัสอากาศ(Free Surface) นั้นจะคำนวณค่า $NPSH_a$ ได้ดังนี้

◊ เมื่อติดตั้ง Pump อยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ

$$NPSH_a = H_b - H_{va} + Z_S - H_f$$

◊ เมื่อติดตั้ง Pump อยู่เหนือผิวน้ำ

$$NPSH_a = H_b - H_{va} - Z_S - H_f$$

เมื่อ H_b = ความดันบรรยากาศต่ำสุด (Minimum Absolute Barometric Pressure Head)
H_{va} = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (Absolute Vapor Pressure) ของน้ำที่อุณหภูมิสูงสุด
Z_s = ความแตกต่างระหว่างผิวน้ำในบ่อสูบกับระดับศูนย์กลางท่อดูดของเครื่องสูบน้ำ
H_f = ความสูญเสียจากความฝืดและ Minor Losses ในท่อดูดของเครื่องสูบน้ำ

ความดันบรรยากาศต่ำสุดเทียบให้เป็นความสูงของน้ำที่ระดับความสูงต่าง ๆ

ระดับ (ม.รทก.)	0	200	400	800	1000	1500	2000	3000
ความดัน (ม.)	10.33	10.20	9.85	9.33	9.17	8.64	8.12	7.16

ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (^oC)	0	10	20	30	40	60	80	100
ความดัน (ม.)	0.06	0.13	0.24	0.43	0.75	2.03	4.83	10.30

3.8 การออกแบบอาคารบังคับน้ำ

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

อาคารบังคับน้ำคือ อาคารชลศาสตร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล ระดับน้ำและทิศทางการไหลของน้ำในระบบกระจายน้ำ เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของการบริหารจัดการน้ำ การออกแบบต้องสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำที่สุด

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการประยุกต์ใช้มีดังนี้

(1) สามารถทำให้การบริหารจัดการน้ำในระบบกระจายน้ำสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบจากปัญหาน้ำการขาดแคลนน้ำได้เป็นอย่างดี

(2) สามารถควบคุมปริมาณน้ำ ระดับน้ำในระบบกระจายน้ำ เพื่อการใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถกระจายน้ำไปสู่พื้นที่รับประโยชน์/พื้นที่เพาะปลูกได้อย่างถูกต้องตามความต้องการและในช่วงเวลาที่เหมาะสม

(2) สามารถกระจายน้ำไปสู่พื้นที่รับประโยชน์/พื้นที่เพาะปลูกได้อย่างทั่วถึงและเป็นธรรม ที่สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศและที่ตั้งของพื้นที่รับประโยชน์

4) การออกแบบอาคารบังคับน้ำ

4.1) การออกแบบอาคารทางรับน้ำเข้า(Inlet Structures)

(1) การออกแบบอาคารควบคุม

การออกแบบอาคารควบคุมทางรับน้ำเข้าใช้เป็นแบบฝายสันคม(Sharp Crested Weir) มีเกณฑ์การออกแบบดังนี้

◊ ฝายแบบไม่มีบานประตู

- ฝายสันคม เป็นฝายแบบไหลตกตรง คำนวณปริมาณน้ำไหลข้ามผ่านฝายใช้สมการ

$$Q = 1.84LH^{1.5}$$

- ฝายสันกว้างบนดินถม คำนวณปริมาณน้ำไหลข้ามผ่านฝายใช้สมการ

$$Q = 1.71LH^{1.5}$$

- ฝายสันมน คำนวณปริมาณน้ำไหลข้ามผ่านฝายใช้สมการ

$$Q = CLH^{1.5}$$

$$C = 2.0\text{-}2.2 \text{ โดยประมาณ}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล, ลบ.ม./วินาที

L = ความกว้างสุทธิของสันฝาย, ม.

H = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย, ม.

◊ ฝายแบบมีบานประตู การออกแบบแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

- กรณียกบานเต็มที่พ้นระดับน้ำ(Sluice Case) การคำนวณหาปริมาณการไหลใช้สูตร

$$Q = CL_eH\{2g(\Delta h+h_a)\}^{1/2}$$

เมื่อ C = สัมประสิทธิ์การไหล เมื่อเปิดบานพ้นระดับน้ำ

. L_e = ความกว้างสุทธิของประตู, ม.

H = ความลึกของน้ำเหนือประตู, ม.

Δh = ผลต่างของระดับน้ำเหนือและท้ายประตู ,ม.

h_a = Velocity Head หน้าประตู, ม.

● กรณียกบานบางส่วน(Partial Gate Opening Case) การคำนวณหาปริมาณการไหลเมื่อท้ายน้ำไม่เป็นอิสระ (Submerged Flow) ใช้สูตร

$$Q = C_s L H_s \{2g\triangle h\}^{1/2}$$

เมื่อ C_s = สัมประสิทธิ์การไหล เมื่อการไหลผ่านประตูเป็น Submerged Flow

H_s = ผลต่างของระดับน้ำด้านท้ายน้ำกับธรณีประตู, ม.

การคำนวณหาปริมาณการไหลเมื่อท้ายน้ำเป็นอิสระ (Free Flow)ใช้สูตร

$$Q = C_d L G_o \{2g\triangle h\}^{1/2}$$

เมื่อ Cd = สัมประสิทธิ์การไหล เมื่อการไหลผ่านประตูเป็น Free Flow

Go = ระยะเปิดบานประตู, ม.

◊ ท่อลอดรับน้ำ

● กำหนดให้การไหลของน้ำเป็นแบบไหลเต็มท่อ (Full Flow)

● Conveyance Loss ที่ Inlet = $0.4\triangle h_v$ ม.

● ความสูงของน้ำท่วมปากทางเข้าท่ออย่างน้อย = $1.5\triangle h_v$ แต่ไม่น้อยกว่า = 0.08 ม.

● ความเร็วสูงสุดในท่อไม่เกิน = 1.5 ม./วินาที

● Friction Loss ในท่อคำนวณจาก $h_f = LS_f$

เมื่อ L = ความยาวท่อ, ม.

$$S_f = \frac{(v^2 n^2)}{R^{4/3}}$$

● Divergence Loss ที่ Outlet = $0.7\triangle h_v$ เมตร

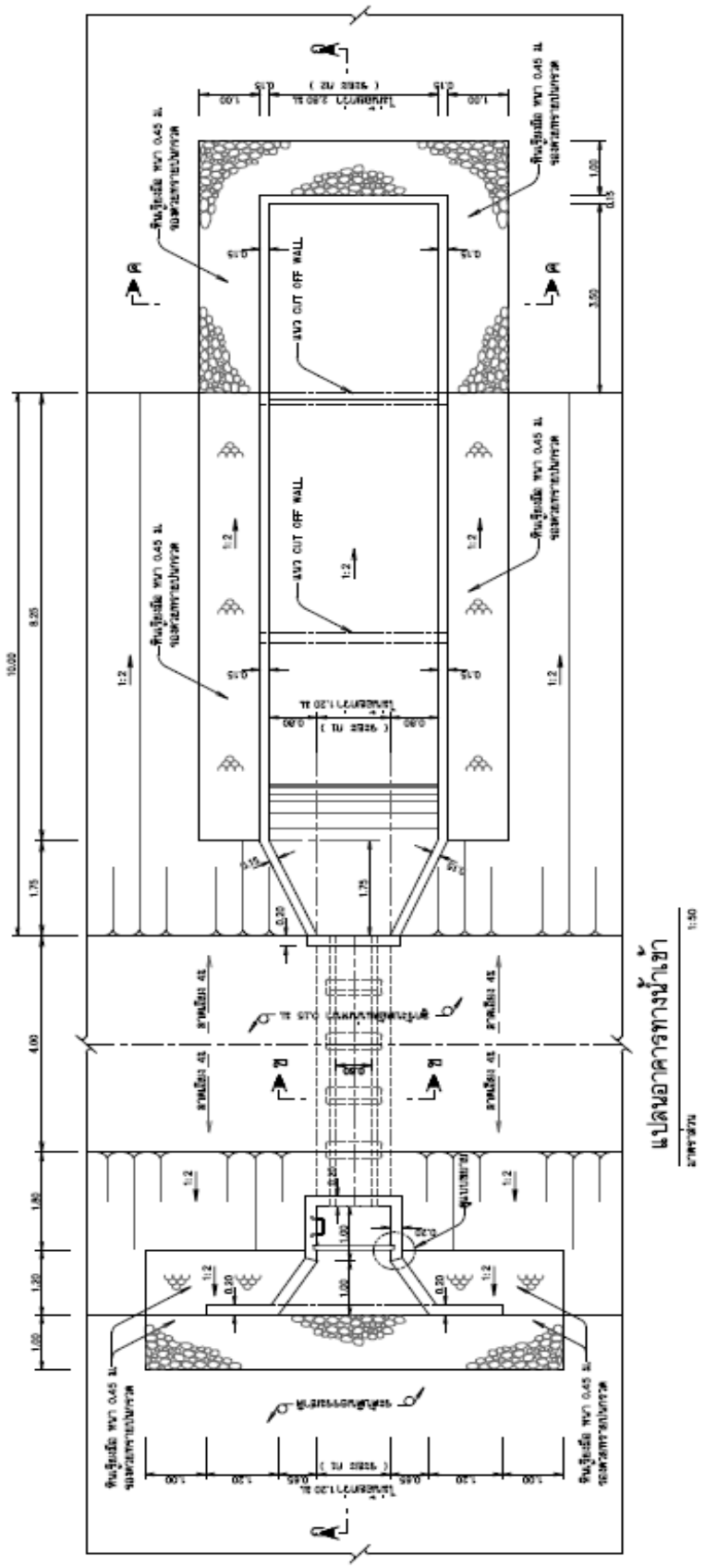
● สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n = 0.014

● Total Head Loss, $H = 0.4\triangle h_v + h_f + 0.7\triangle h_v$ (ม.)

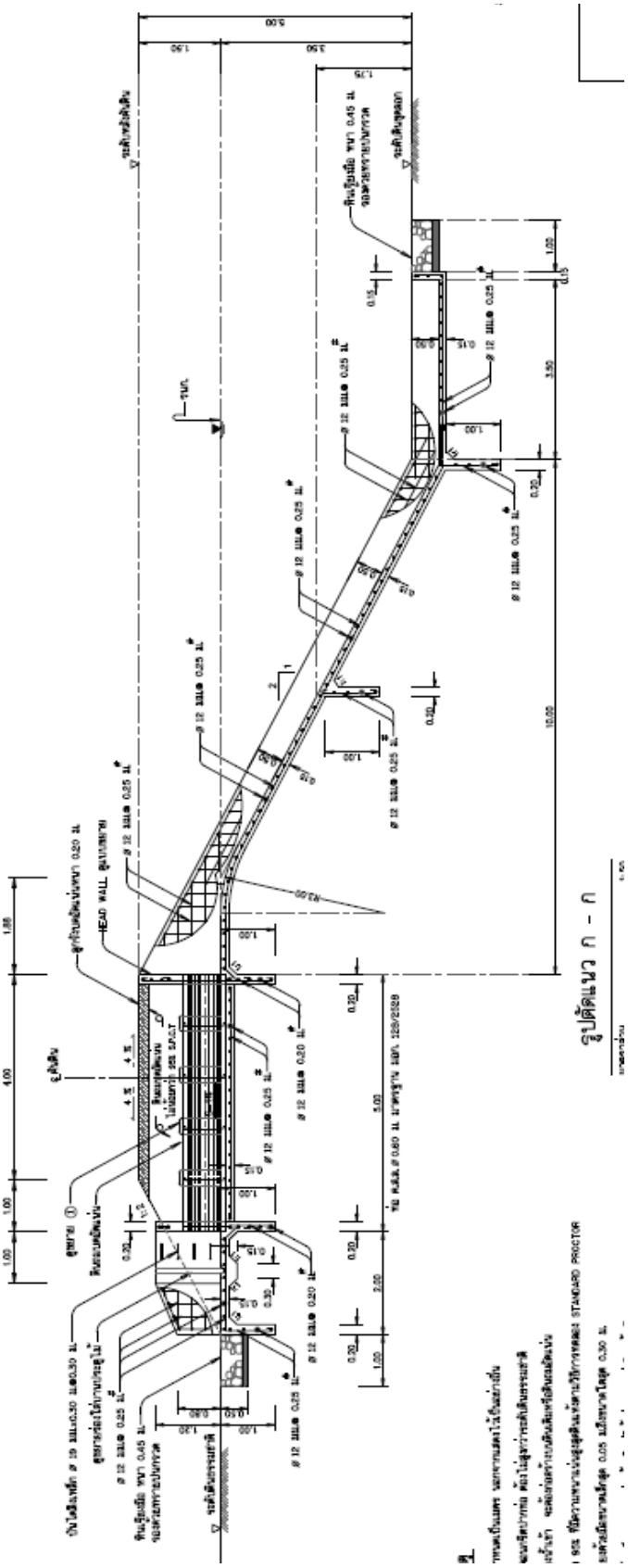
(2) การออกแบบอาคารสลายพลังงาน เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

(3) ความยาวของอาคารและแผ่นพื้นทึบน้ำ การคำนวณค่า Weighted Creep Ratio ทั้งใต้อาคารและด้านข้างอาคารสามารถใช้วิธีของ Lane ใน " U.S.B.R. Design of Small Dam" เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น

(4) การกำหนดขนาดและความยาวของหินเรียง เช่นเดียวกับการออกแบบฝายน้ำล้น



แปลนอาคารทางรับน้ำเข้า



รูปตัดตามยาวอาคารทางรับน้ำเข้า

4.2) การออกแบบอาคารบังคับน้ำ/อาคารจุดปล่อยน้ำ

(1) การออกแบบท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำ ท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำเป็นอาคารที่รับน้ำจากลำน้ำส่งเข้าคลองส่งน้ำ โดยทั่วไป แนวคลองส่งน้ำจะวางอยู่บนสันเนินสูง เพราะสามารถที่จะส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกได้สะดวก ลักษณะของท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำ จะเป็นอาคารที่มีบานระบายควบคุมการไหลของน้ำ ซึ่งท่อระบายน้ำปากคลองส่งน้ำจะถูกกำหนดด้วยปริมาณน้ำและค่าการสูญเสียหัวน้ำ (Head Loss) ต่างๆ ดังนั้นในการคำนวณจะใช้สูตรดังนี้

$$Q = A_P \times V_P$$

$$H = 1.2 \times \frac{V_P^2}{2g} + \frac{n^2 \times v^2 \times L_P}{R^{\frac{4}{3}}}$$

(2) อาคารอัดน้ำกลางคลองและอาคารปลายคลอง ในการออกแบบอาคารอัดน้ำกลางคลองและอาคารปลายคลองของงานขุดลอกปรับปรุงลำน้ำพิจารณาเป็นอาคารแบบเดียวกับฝายแบบประตูระบายวางบนสันคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการออกแบบต้องการให้คลองที่ทำการขุดลอก ทำหน้าที่เป็นเสมือนแหล่งเก็บกักน้ำสำรองไว้ใช้ในยามฤดูแล้ง และช่วยระบายน้ำหลากจากพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนในฤดูฝน ดังนั้นจึงออกแบบอาคารอัดน้ำกลางคลองและอาคารปลายคลองมีลักษณะเป็นเสมือนฝายแบบประตูระบายวางบนสันคอนกรีต สำหรับปริมาณน้ำออกแบบอาคารจะพิจารณาจากค่าความจุสูงสุดที่คลองที่ทำการขุดลอกสามารถรับได้เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่คลองที่ทำการขุดลอก

(3) Farm Turn out / Constant Head Orifice อาคารจ่ายน้ำประกอบด้วยท่อจ่ายน้ำและส่วนประกอบที่จะทำหน้าที่เป็น Constant Head Orificeซึ่งมีความสามารถในการปรับปริมาณน้ำไหลผ่านได้ตามความต้องการ ตัวอาคารกำหนดให้ติดตั้งในคลองชลประทานในแปลงนาหนึ่งหน่วยหรือประมาณ 300 ไร่

(4) Division box เป็นอาคารสารพัดประโยชน์ใช้ทำหน้าที่ได้ดังนี้

◇ เป็นอาคารอัดน้ำ Check เมื่อปิดบานช่องเปิดต่างๆให้น้ำด้านเหนือมีระดับสูงพอที่จะส่งน้ำได้

◇ เป็นอาคารส่งน้ำเข้าคูซอยหรือ Farm inlet

- เป็นอาคารแบ่งน้ำเข้าคูซอยหรือ Farm inlet มากกว่า 1 ทางออกแต่ไม่เกิน 3 ทางออก
- ใช้**เป็น**อาคารน้ำตก (Drop) ที่ลดระดับน้ำไม่มากนัก

(5) Farm Inlet เป็นอาคารรับน้ำเข้าแปลงนาโดยตรงจากคูน้ำ ซึ่งกำหนดให้มีขนาดความจุ 30 ลิตร/วินาที

(6) Ditch Inlet อาคารจ่ายน้ำจากคูส่งน้ำ ไปยังคูส่งน้ำสายซอย ประกอบด้วยท่อจ่ายน้ำพร้อมประตูน้ำ

(7) Entrance Culvert in Ditch / in Drain เนื่องจากคูส่งน้ำคูระบายน้ำจะมีถนนในระดับไร่นา (Farm Road) เพียงฝั่งเดียว ฉะนั้นจำเป็นต้องจัดสร้างทางข้ามพื้นที่อีกฝั่งหนึ่งที่ไม่มีถนน สามารถข้ามมาใช้โดยมีข้อกำหนดทั่วไปดังนี้

- มีขนาดใหญ่พอที่จะให้น้ำผ่านได้โดยเกิด Head Loss น้อยที่สุด จนกระทั่งอาจอนุมานได้ว่าไม่มี Loss
- จัดทำพื้นที่เขตแปลงเพื่อให้ที่ดิน 2 แปลงสามารถข้ามคูได้ต่อหนึ่งแห่ง

4.3) อาคารอัดน้ำ

อาคารอัดน้ำกำหนดไว้ 2 รูปแบบ ตามขนาดของอัตราการไหล คือ

- ปริมาณน้ำมากกว่า 2.5 ลบ.ม./วินาที เป็นแบบ Open Check ควบคุมโดย Path Weir
- ปริมาณน้ำไม่เกิน 2.5 ลบ.ม./วินาที เป็นแบบ Duckbill Weir

(1) อาคารอัดน้ำแบบ Open Check อาคารอัดน้ำแบบนี้จะใช้บานเหล็กตรง (Vertical Slide Gate) เป็นบานบังคับ สองข้างบานจะมีกำแพงคอนกรีต (Wing Wall) ระดับหลังกำแพงอยู่ที่ระดับน้ำใช้การสูงสุด (Full Supply Level, F.S.L) มีเกณฑ์การคำนวณออกแบบ ทางชลศาสตร์ ดังต่อไปนี้

- ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องบาน จะต้องไม่เกิน 1.50 เมตร/วินาที
- Head Loss through check = $0.5\triangle h_v$

เมื่อ $\triangle h_v$ = ความแตกต่างของ Velocity Head ที่ช่องบานและที่คลองด้านเหนือน้ำ หน่วยเป็นเมตร (ไม่น้อยกว่า 0.03 เมตร)

- เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลข้าม Wing Wall ในช่วงเวลาส่งน้ำตามปกติ จะออกแบบโดยใช้อัตราการไหลของน้ำผ่านช่องบาน = 1.1 เท่าของอัตราการไหลสูงสุดในคลองส่งน้ำ
- ปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลข้ามกำแพง Wing Wall หรือ side Wall กำหนดให้เท่ากับ 0.25 เท่าของอัตราการไหลออกแบบ โดยคำนวณจากสูตร

$$Q = CLH^{1.5}$$

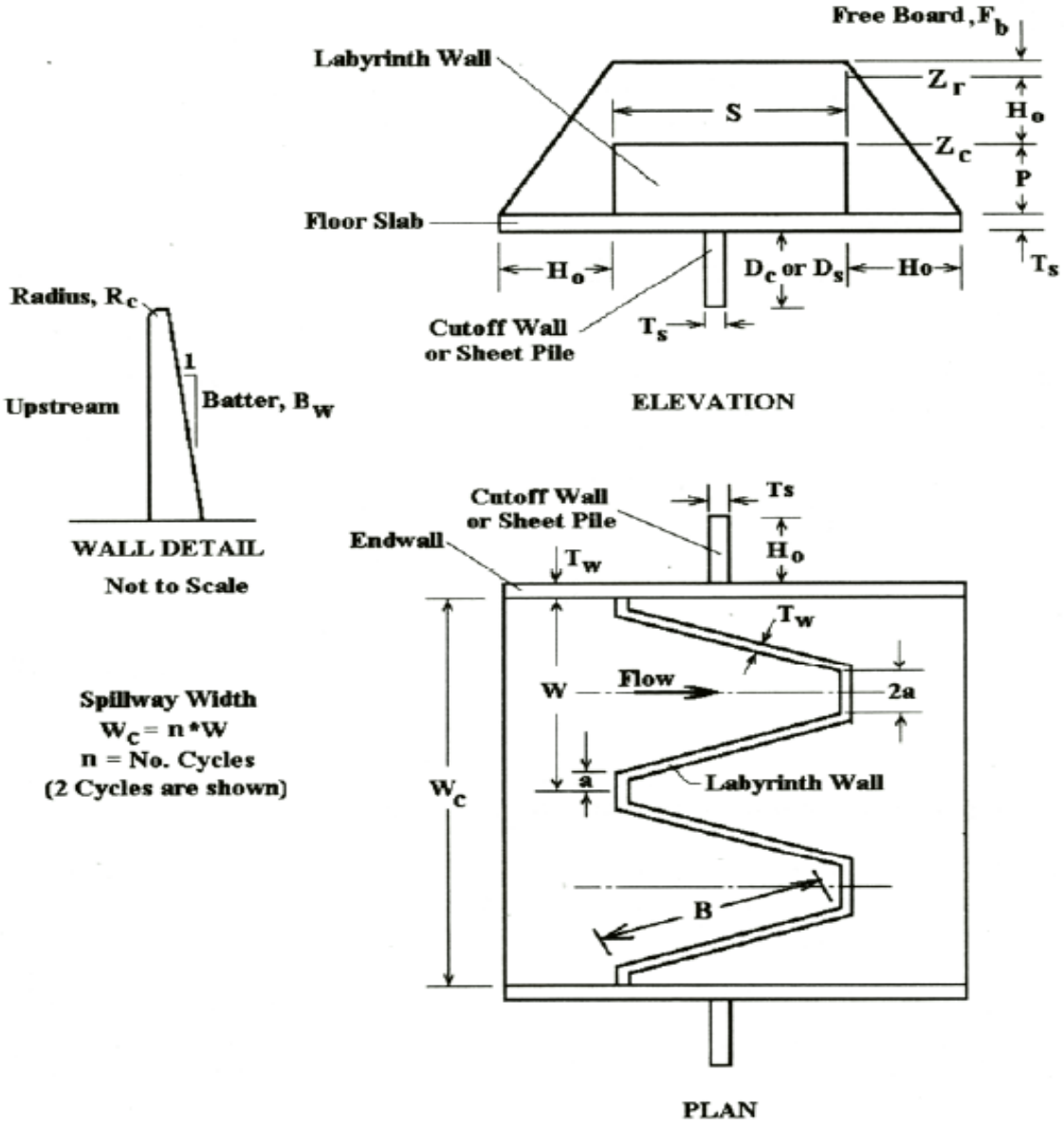
เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำข้ามกำแพง, ลบ.ม./วินาที
C = 1.822
L = ความยาวรวมของกำแพง, ม.
H = ความสูงของน้ำที่ท่วมเหนือกำแพง, ม.(0.5 เท่าของ Freeboard)

- ความยาวของอาคารวัดจากช่องบานถึงส่วนที่เป็นคลองด้านท้ายน้ำ จะต้องยาวกว่า Length of Jump ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการให้น้ำไหลผ่านช่องบานแบบ Partial Flow

(2) อาคารอัดน้ำแบบ Duckbill Weir อาคารอัดน้ำแบบ Duckbill Weir เป็นอาคารอัดน้ำที่นำหลักการของฝายทดน้ำมาใช้ในการออกแบบเหมาะสำหรับกรณีที่ปริมาณน้ำไหลผ่านไม่มากนัก รูปแบบของอาคารจะเป็นสันกำแพงคอนกรีตรูปคล้ายปากเป็ด สร้างขวางทางน้ำเพื่อให้น้ำเอ่อล้นแล้วล้นข้าม โดยใช้สูตรจาก FAO Irrigation and Drainage Paper 26/2 “Small Hydraulic Structure”

$$Q = m \times W_c \times (2 \times g)^{0.5} \times H_{crt}^{1.5}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำผ่าน Duckbill Weir, ลบ.ม./วินาที
m = สัมประสิทธิ์ของการไหลข้ามสันฝาย
= 0.36 สำหรับสันฝายชนิดมุมมนด้านเหนือน้ำ
= 0.32 สำหรับสันฝายชนิดมุมฉาก
W = ความกว้างสันฝาย 1 ช่อง, ม.
n = จำนวนช่องของฝาย
W_c = ความกว้างทั้งหมดของสันฝาย (nW), ม.
g = อัตราเร่งแรงโน้มถ่วง = 9.81 ม./วินาที^{2}
H_{crt} = Head ของน้ำเหนือสันฝาย, ม.



รูปแสดงส่วนประกอบต่างๆของฝายสันหยัก(Labyrinth Weir)

อาคารอัดน้ำทั้ง 2 รูปแบบ ข้างต้น อาจนำไปใช้ร่วมกับอาคารน้ำตก (Check Drop) หรือท่อลอดถนน/ท่อสอดส่งน้ำ เพื่อยกระดับน้ำด้านเหนือน้ำขึ้นก่อนที่จะปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอาคารไป นอกจากอาคารอัดน้ำทั้ง 2 รูปแบบข้างต้น ยังมีอาคารอัดน้ำรูปแบบ Open Check ที่ออกแบบไว้ใช้กับท่อระบายปลายคลองอีก 1 รูปแบบ เรียกว่า Check Inlet โดยมีเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบด้านชลศาสตร์ ดังนี้

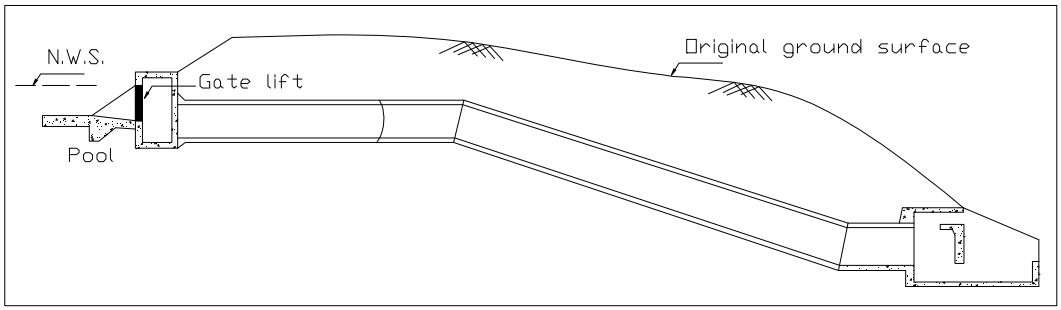
- ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องบาน ไม่เกิน 1.5 ม./วินาที
- ความกว้างของช่องบานอย่างน้อยที่สุด B(min) จะต้องไม่น้อยกว่า

  B(min) = D+0.16 (ม.)

  เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (ม.)

4.4) การออกแบบอาคารระบายน้ำฉุกเฉินลงลำน้ำธรรมชาติ

เมื่อปริมาณในคลองส่งน้ำสูงกว่าค่าสูงสุดที่ออกแบบไว้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการควบคุมน้ำที่ผิดพลาด หรือพายุฝนที่ตกในพื้นที่ น้ำปริมาณที่เกินกำหนดอาจทำความความเสียหายให้กับคลองส่งน้ำได้ เช่น ในกรณีที่น้ำไหลล้นข้ามคันคลอง (Overtopping) ทำให้เกิดการกัดเซาะและทำให้คลองส่งน้ำเสียหาย เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว อาคารระบายน้ำลงทางน้ำธรรมชาติจะถูกก่อสร้างขึ้น เพื่อระบายน้ำส่วนเกินออกจากคลองส่งน้ำนอกจากนี้ ยังอาจใช้เป็นอาคารระบายน้ำออกจากคลองเพื่อการซ่อมแซมในกรณีที่อาคารดังกล่าวมีบานประตูควบคุม ซึ่งสามารถใช้อาคารระบายน้ำแบบ Wasteway Turnout with Baffled Outlet



รูปตัดอาคารระบายน้ำฉุกเฉินลงลำน้ำธรรมชาติ
แบบ Waste Way Turnout with Baffled Outlet

(1) การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design) ออกแบบอาคารเป็นแบบที่น้ำไหลข้ามผ่านได้ เหมือนกับ Side Channel Spillway หรือ Siphon Spillway ซึ่งน้ำส่วนเกินในคลองส่งน้ำจะไหลข้ามสันอาคารเข้าไปในท่อรับน้ำ โดยปกติอาคารรับน้ำนี้จะตั้งฉากกับแนวคลองส่งน้ำ สันที่น้ำไหลข้ามผ่านจะต้องมีระดับสูงกว่าระดับน้ำปกติไม่น้อยกว่า 0.2 ฟุต หรือเพื่อความปลอดภัยอาจพิจารณาเพิ่มระยะ Freebord ขึ้นได้ตามสภาพภูมิประเทศและสิ่งแวดล้อม ความยาวของสันระบายน้ำ คำนวณจากสมการ

$$Q = 1.84 L_c H^{3/2}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลเข้าท่อส่งน้ำ, ลบ.ม./วินาที
L_c = ความยาวของสันรับน้ำ, ม.
H = ความสูงของน้ำที่ยอมให้ไหลข้ามสันอาคารรับน้ำ, ม.

ท่อรับน้ำนำน้ำจากตัวอาคารระบายน้ำ โดยปกติจะมีหน้าตัดรูปวงกลม ขนาดของท่อจะต้องใหญ่เพียงพอที่จะนำน้ำที่ไหลข้ามสันอาคารลงสู่ทางน้ำธรรมชาติได้ตามปริมาณที่ออกแบบไว้ ขนาดของท่อหาได้จากสมการ

$$Q = A \cdot V$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ยอมให้ไหลเข้าท่อส่งน้ำ, ลบ.ม./วินาที
A = พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ, ตร.ม.
V = ความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ, ม./วินาที

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ, ตร.ม.
D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อรับน้ำ, ม.

Baffled Outlet จะถูกออกแบบตามข้อกำหนดของ USBR (1978) เพื่อให้น้ำไหลออกจากคลองส่งน้ำเกิดการสูญเสียพลังงาน เพื่อป้องกันการกัดเซาะบริเวณท้ายน้ำ

(2) การออกแบบโครงสร้าง (Structural Design) การออกแบบโครงสร้างจะเป็นไปตามมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างและคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วๆไป เหมือนกับ Side Channel Spillway หรือ Siphon Spillway แต่ตัวอาคารจะมีขนาดที่เล็กกว่า การออกแบบจะแยกออกเป็นส่วนๆ คือ 1) สันที่เป็นอาคารรับน้ำ (Side Channel Spillway) 2) ท่อรับน้ำ (Pipe) และ 3) Baffled Outlet

4.5) อาคารเชื่อม(Transition)

การออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารเชื่อม (Transition) มีขั้นตอน ดังนี้

(1) การกำหนดความยาวของช่วงต่อเชื่อม จะกำหนดขึ้นมาด้วยมุมที่เกิดจากเส้นผิวน้ำสูงสุดตัดกับลาดด้านข้าง ซึ่งทำมุมกับแนวศูนย์กลางของช่วงต่อเชื่อมนั้น (สมมติให้เป็นมุม θ) เกณฑ์การกำหนดค่าของมุม θ มีดังนี้

- ในกรณีที่เป็นอาคารใหญ่ และต้องการคุณสมบัติทางชลศาสตร์ดีที่สุดให้ใช้ $\theta = 27\frac{1}{2}$

สำหรับช่วงต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำ $\theta = 22\frac{1}{2}$ สำหรับช่วงต่อเชื่อมด้านท้ายน้ำ

- ในกรณีที่เป็นอาคารใหญ่ แต่ต้องการลดค่าก่อสร้าง อาจจะใช้ $\theta = 25^\circ$ สำหรับทั้งช่วงต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำก็ได้
- ในกรณีที่เป็นอาคารเล็กและอาคารนั้นทำหน้าที่อัดน้ำด้วย(check)อาจจะใช้ $\theta = 30^\circ$ สำหรับ ทั้งช่วงต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำ

นอกจากนี้สำหรับพื้นของช่วงต่อเชื่อมแบบลาดด้านข้างสองชั้น ควรกำหนดให้มีความลาดชันไม่เกิน 1 : 6 เพื่อป้องกันการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำ เว้นเสียแต่ว่าจะเรียงหินด้านท้ายน้ำให้มีความยาวเพียงพอเท่านั้น

(2) การหาการสูญเสียระดับน้ำที่ผ่านช่วงต่อเชื่อม การออกแบบเพื่อช่วยให้การไหลของน้ำผ่านช่วงต่อเชื่อมเป็นไปโดยราบเรียบ และเกิดการสูญเสียระดับน้ำน้อยที่สุด ควรกำหนดให้ขอบบนของช่องเปิด (Opening) ของอาคารอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำไม่น้อยกว่า 3" สำหรับช่วงต่อเชื่อมด้านเหนือน้ำ ส่วนขอบบนของช่องเปิดของอาคารด้านช่วงต่อเชื่อมด้านท้ายน้ำไม่ควรให้ต่ำกว่าระดับผิวน้ำเลย แต่ถ้าจะต้องมีระดับต่ำกว่าระดับผิวน้ำจะต้องต่ำกว่าไม่เกิน $\frac{1}{6}$ เท่าของความลึกของช่องเปิดอาคาร จะต้องคำนวณค่าการสูญเสียระดับน้ำ

โดยหลักการของการไหลสู่ที่กว้างโดยกะทันหัน (Sudden enlargement) แทนการหาค่าการสูญเสียระดับน้ำที่จะกล่าวต่อไป

ค่าการสูญเสียระดับน้ำจะหาได้จากสูตร

$$h_L = K.\frac{(V_1^2 - V_2^2)}{2g}$$

ในเมื่อ h_L = ค่าการสูญเสียระดับน้ำ, ม.

V_1 และ V_2 = ความเร็วของน้ำที่ปลายทั้งสองของช่วงต่อเชื่อม, ม./วินาที

K = สัมประสิทธิ์ซึ่งดูได้จากตารางข้างล่าง

สัมประสิทธิ์ที่ใช้หาค่าการสูญเสียระดับน้ำในทางผ่านน้ำแบบต่างๆ

ชนิดของช่วงต่อเชื่อม	สัมประสิทธิ์ K	
	เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ
แบบขอบโค้งสู่รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.1	0.2
แบบขอบตรงสู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.2	0.3
แบบขอบตรง (ขอบล่างพอกมุม) สู่ท่อ	0.3	0.4
แบบสองชั้นสู่รูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า	0.3	0.5
แบบสองชั้นสู่ท่อ	0.4	0.7
แบบปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าสู่รูปตัดกลม	0.1	0.2

4.6) อาคารท่อลอดถนน

ในการออกแบบท่อลอดถนนมีเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์ ดังต่อไปนี้

(1) กำหนดให้การไหลของน้ำเป็นแบบไหลเต็มท่อ (Full Flow) และให้ Transition ที่เชื่อมต่อกับคลองเป็นแบบ Broken Back Type สำหรับกรณีที่ต้องการอัดน้ำเพื่อยกระดับน้ำหน้าท่อลอดจะกำหนดให้อาคารอัดน้ำเป็นแบบ Duckbill Weir หรือ Open Check

(2) Conveyance Loss ที่ Inlet Transition = $0.4\triangle h_v$ ม.

(3) ความลาดสูงสุดที่ Inlet และ Outlet Transition = 1 : 4 (ตั้ง : ราบ)

(4) ความสูงของน้ำท่วมปากทางเข้าท่ออย่างน้อย = $1.5\triangle h_v$ แต่ไม่น้อยกว่า = 0.08 ม.

(5) ความเร็วสูงสุดในท่อไม่เกิน = 1.5 ม./วินาที

(6) Friction Loss ในท่อคำนวณจาก $h_f = LS_f$

เมื่อ L = ความยาวท่อ, ม.

$$S_f = \frac{(v^2 n^2)}{R^{4/3}}$$

(7) Divergence Loss ที่ Outlet Transition = $0.7\triangle h_v$ เมตร

(8) สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n = 0.014

(9) ระดับพื้นอาคารที่ Inlet = ระดับน้ำใช้ในการสูงสุด, (F.S.L)-(Pipe opening+$1.5\triangle h_v$)

(10) ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) ระยะพ้นน้ำของอาคารมีเกณฑ์ ดังนี้

ระยะพ้นน้ำที่ cutoff = ระยะพ้นน้ำของคลองที่ cutoff

ระยะพ้นน้ำที่กำแพงปากท่อ = 1.20 เท่าของระยะพ้นน้ำของคลองที่ cutoff

(11)ความลึกของน้ำท่วมเหนือปากท่อทางออก(Outlet Submergence)

$= \frac{1}{2}$ (Depth of outlet opening), ม.

(12)ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไม่เล็กกว่า 0.60 ม.

(13)ความลึกและความหนาของ cutoff ใช้เกณฑ์ดังแสดงในตารางข้างล่าง

(14)Total Head Loss, $H = 0.4\triangle h_v + h_f + 0.7\triangle h_v$ (ม.)

เกณฑ์กำหนดความหนาและความลึกของ cutoff เนื่องจากความลึกของน้ำ

ความลึกของน้ำที่ Cutoff(d), ม.	Cutoff wall	
	ความลึกอย่างน้อย, ม.	ความหนาอย่างน้อย, ม.
น้อยกว่า 0.90	0.1	0.2
0.91-1.80	0.2	0.3
1.81-3.00	0.3	0.4
มากกว่า 3.00	0.3	0.5

4.7) อาคารท่อส่งน้ำเข้านา(Farm Turnout)

การออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารท่อส่งน้ำเข้านา (Turnout) มีขั้นตอนดังนี้

(1) ขนาดท่อที่นิยมใช้ในปัจจุบันไม่ควรเล็กกว่า 0.30 ม. และในการกำหนดขนาดท่อนั้นใช้สูตร ดังนี้

$$H_L = (K_e+1)\frac{V^2}{2g} + \frac{(v^2 n^2 L)}{R^{4/3}}$$

ในเมื่อ H_L = ระดับต่างของผิวน้ำหน้าและท้ายท่อส่งน้ำเข้านา, ม.

K_e = สัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านเข้าท่อ

= 0.78

V = ความเร็วกระแสน้ำในท่อ, ม./วินาที

N = สัมประสิทธิ์ของความขรุขระของผิวท่อ

= 0.017

L = ความยาวของท่อ, ม.

R = รัศมีชลศาสตร์, ม.

(2) เนื่องจากแรงดันของน้ำในท่อมีไม่มากนัก และเป็นท่อขนาดเล็ก จึงนิยมใช้ท่อกลมหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Pipe) หรือในบางแห่งอาจใช้ท่อแอสเบสตอสซีเมนต์เสียเลย

(3) ความยาวของตัวท่อให้คำนวณหาจากส่วนสัมพันธ์ของความกว้างหลังคันคลอง ความลึกของท่อที่ฝังและลาดตลิ่งของตัวคลองซอย

(4) ในการคำนวณระดับปากท่อให้ถือเสมือนว่าระดับน้ำในคลองซอยเป็นระดับที่มีการไหลเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำเต็มที่และระดับด้านในขอบบนของตัวท่อจะต้องต่ำกว่าระดับผิวน้ำดังกล่าวไม่น้อยกว่า 1.5 $.\frac{V^2}{2g}$ เมื่อ V เป็นความเร็วกระแสน้ำในท่อ เว้นเสียแต่ว่าถ้าอาคารอัดน้ำ (Check Stucture) ในคลองซอย จึงจะยึดระดับน้ำเต็มที่ในคลองเป็นหลัก

(5) ที่ปลายท่อทั้งสองด้านจะต้องมีกำแพงหน้าท่อ (Head Wall) และพื้น (Apron) และอาจจะต้องเรียงหินป้องกันการกัดเซาะตามความจำเป็น

(6) การตรวจสอบน้ำลอดอาคารให้คิดเสมือนระดับน้ำหน้าอาคารเต็มถึงส่วนเผื่อความลึก (Freeboard) และท้ายน้ำน้ำแห้งในกรณีที่ความยาวไม่พอต้องใส่คอลล่า(Collar) ด้วย

(7) หน้าท่อจะต้องมีบานบังคับน้ำ ซึ่งอาจจะเป็นบานเหล็กเลื่อน (Slide gate) หรือไม้อัดน้ำ (Stop Log) ก็ได้

4.8) อาคารลดพลังงานของน้ำ

อาคารลดพลังงานของน้ำแบบกระทบ(Impact) เป็นอาคารซึ่งมีหน้าที่ลดความแรงของกระแสน้ำที่ไหลออกจากท่อให้หมดไป ก่อนที่น้ำจะไหลเข้าสู่คลองส่งน้ำหรือลำรางธรรมชาติทำให้ความเร็วของน้ำช้าลงจนไม่กัดเซาะหรือทำความเสียหายแก่คลองส่งน้ำหรือลำน้ำธรรมชาติ

(1) เป็นอาคารลดพลังงานของน้ำที่ไม่ขึ้นอยู่กับระดับน้ำด้านท้ายน้ำ(Tail-water)

(2) ความเร็วของน้ำในท่อขึ้นอยู่กับความสูงหัวน้ำระหว่างระดับน้ำสูงสุดหน้าท่อกับระดับปลายท่อ และความเร็วของน้ำออกจากท่อต้องไม่เกิน 15 ม./วินาที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อาคาร

(3) พลังงานของน้ำจะสูญเสียไปเป็นส่วนมากเมื่อน้ำจากท่อพุ่งชนแผ่นคอนกรีต (Baffle) ที่อาคารลดพลังงานของน้ำ

(4) เมื่อน้ำไหลชน Baffle แล้วพลังงานของน้ำจะสูญเสียไปกับการไหลวน (Eddy Current) บ้าง

(5) ปลายท่อที่น้ำไหลเข้าสู่อาคารนี้ แนวท่อต้องอยู่ในแนวระนาบยาวจากตัวอาคารเข้าไปทางด้านเหนือน้ำอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ เพื่อให้ทิศทางการไหลของน้ำตั้งฉากกับแผน Baffle และขอบล่างของแผ่น Baffle ต้องมีระดับเท่ากับระดับท้องท่อ

(6) แผ่นคอนกรีตต้องมีความแข็งแรง สามารถรับแรงปะทะของน้ำที่ไหลออกจากท่อได้อย่างปลอดภัย และอาคารลดพลังงานของน้ำต้องมั่นคงไม่เลื่อน เมื่อถูกแรงกระแทกของน้ำดังกล่าว

(7) ต้องมีการเรียงหินใหญ่ (Riprap) บนพื้น และบนลาดด้านข้างคลองส่งน้ำ หรือลำรางบริเวณท้ายอาคารเพื่อป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำ ซึ่งอาจยังมีความเร็วสูง ก้อนหินมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 1/20 ของความกว้างของอาคาร ความยาวของการเรียงหินไม่น้อยกว่าความกว้างของอาคารและเรียงหินหนาไม่น้อยกว่า 1/6 ของความกว้างของอาคาร

เพื่อป้องกันการกัดเซาะท้ายน้ำ จึงต้องออกแบบให้เหมาะสม และสอดคล้องกับลักษณะการใช้งานจริง โดยพิจารณาที่

- ระดับน้ำที่ระดับเก็บกัก
- สามารถส่งน้ำได้ตามที่ออกแบบ โดยเปิด gate ไม่เต็มที่

อย่างไรก็ดี จะต้องทำการตรวจสอบลักษณะการใช้งาน เช่น การระบายน้ำฉุกเฉิน โดยจะไม่ทำความเสียหายต่ออาคารสลายพลังงานที่ออกแบบไว้นั้น คือ จะพิจารณาที่

- ระดับน้ำที่ 80% ของความจุแหล่งน้ำ
- เปิด gate เต็มที่

การเลือกชนิดของอาคารสลายพลังงานจะพิจารณาจากความเร็วกระแสน้ำ และปริมาณที่ออกจากปลายท่อ

ถ้า V $<$ 15 ม./วินาที (50 ฟุต/วินาที)

Q $<$ 11.33 ลบ.ม./วินาที (400 ลบ.ฟุต/วินาที)

เลือกใช้ Impact-Type Energy Dissipater ถ้าเป็นอย่างอื่นเลือกใช้ hydraulic Jump Stilling Basin โดย Impact-Type Stilling Basin อาคารชนิดนี้ทำหน้าที่สลายพลังงานของน้ำ ลักษณะของอาคารแสดงดังรูปข้างล่าง ที่ไหลออกมาจากท่อส่งน้ำผ่านอาคารควบคุมปริมาณน้ำ (Control House) ให้มี

ความเร็วต่ำจนไม่สามารถกัดเซาะอาคารด้านท้ายน้ำได้กำหนดให้ใช้ชนิด Impact Type Basin เพราะปริมาณน้ำที่ไหลผ่านมีค่าน้อย และอาคารชนิดนี้จะมีการขุดดินน้อย รวมทั้งค่าก่อสร้างประหยัดเพราะเป็นอาคารขนาดเล็ก

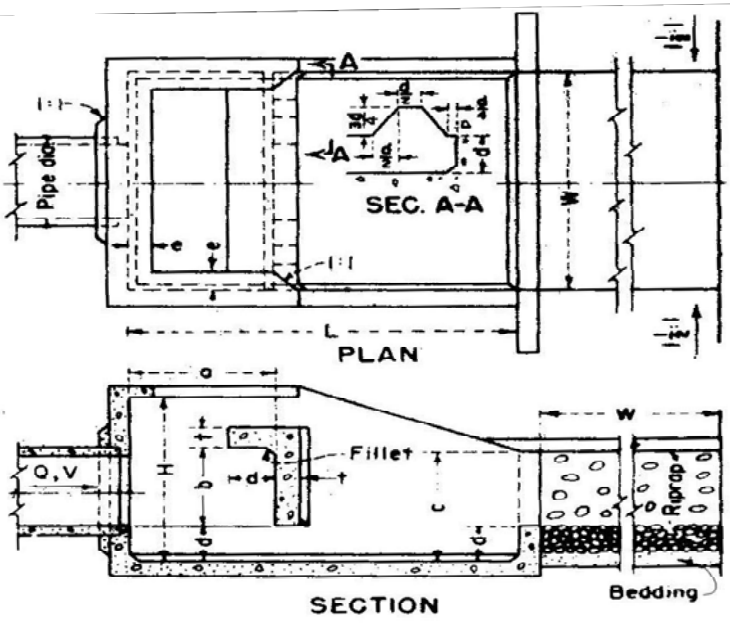
โดยสมมุติรูปร่างของ Jet ที่พุ่งออกมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสกว้าง D การคำนวณหาขนาดรูปร่างมีลักษณะ ดังนี้

$$V = (2gh)^{1/2}$$

$$A = \frac{Qm}{V}$$

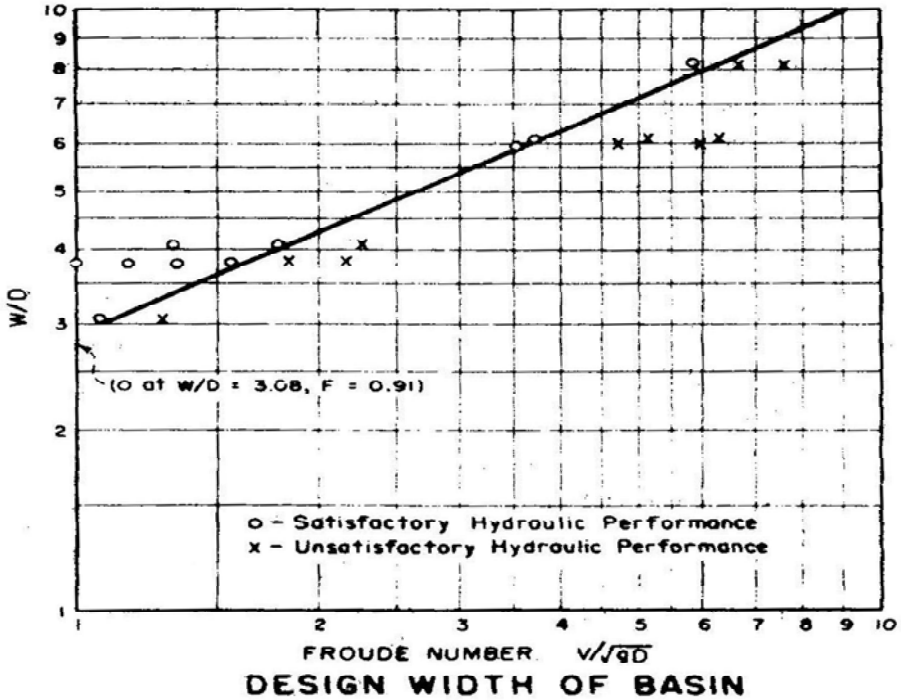
$$D = \sqrt[2]{A}$$

โดย V = ความเร็วกระแสน้ำที่ไหลเข้า Basin ม./วินาที $<$ 15 ม./วินาที
h = ผลต่างของระดับน้ำหน้าท่อกับระดับน้ำที่ปลายท่อ, ม.
Q_m = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อสูงสุดที่ระดับน้ำสูงสุด, ลบ.ม./วินาที
A = พื้นที่หน้าตัดท่อ, ตร.ม.
D = ความลึกน้ำไหลเข้า Basin, ม.
F_r = Froude Number = $V/(gD)^{1/2}$ ซึ่งต้องไม่เกิน 9



H = ¾ (W) d = ⅛ (W)
L = 4/3 (W) e = ½ (W)
a = ½ (W) t = 1/12 (W), suggested minimum
b = ⅜ (W) Riprap stone size diameter = 1/30 (W).
c = ½ (W)

STILLING BASIN DESIGN



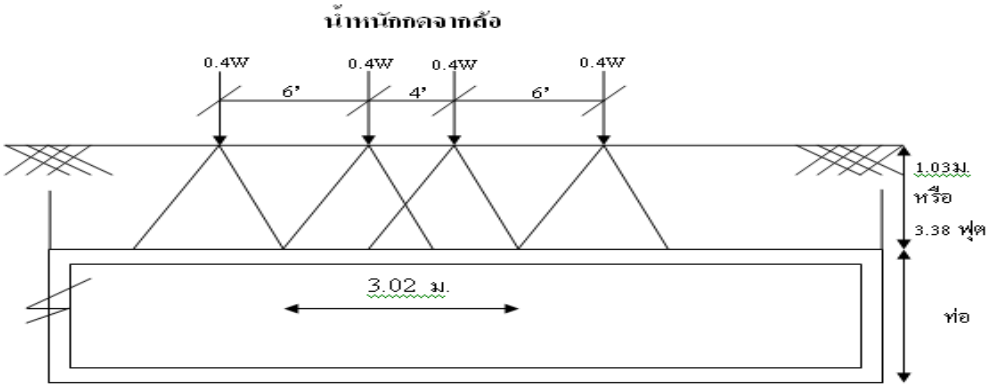
DESIGN WIDTH OF BASIN

"W" is the inside width of the basin.
"D" represents the depth of flow entering the basin and is the square root of the flow area.
"V" is the velocity of the incoming flow.

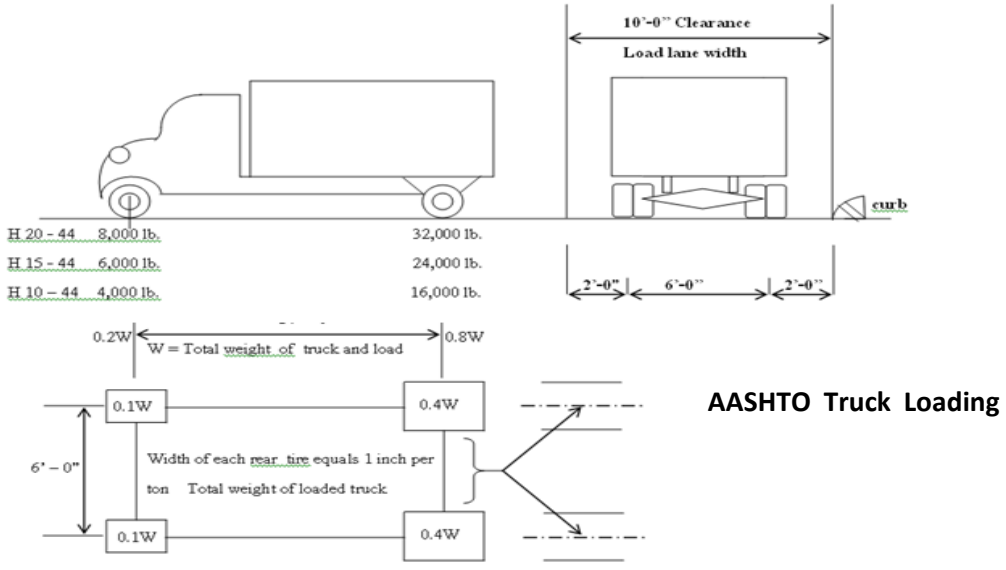
อาคารสลายพลังงานน้ำชนิดกระแทก(Impact-Type Stilling Basin)

4.9) การออกแบบท่อลอดถนนหน้าตัดสี่เหลี่ยม

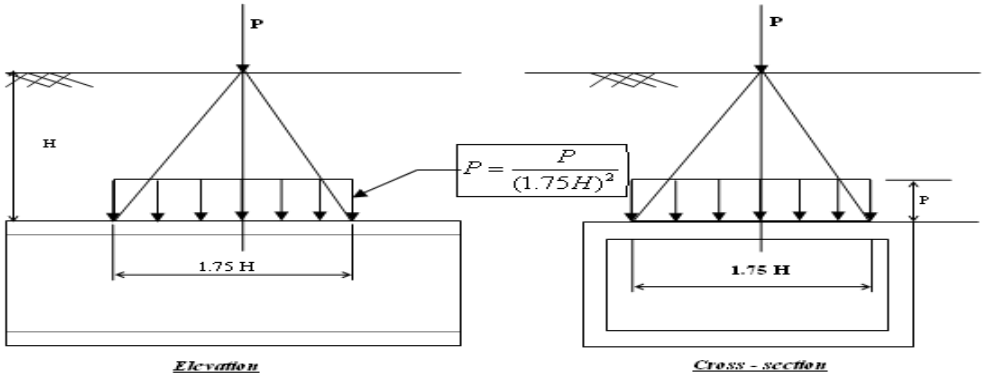
(1) เกณฑ์กำหนดน้ำหนักกดทับท่อลอดสี่เหลี่ยมต้องมีความหนาพื้นท่อด้านบนและด้านล่างที่เหมาะสม กำหนดความเร็วในท่อไม่เกิน 1.50 m/s. เพื่อป้องกันการกัดเซาะ ดินทับหลังท่อต้องไม่น้อยกว่า 90 ซม. ส่วนความลาดเทพื้น Transition ไม่เกิน 1 : 4 ส่วนการกระจายของ Wheel Load ขึ้นกับข้อกำหนดในการออกแบบท่อลอดสี่เหลี่ยมว่าเป็นแบบ single barrel หรือ double barrel ตามรูป



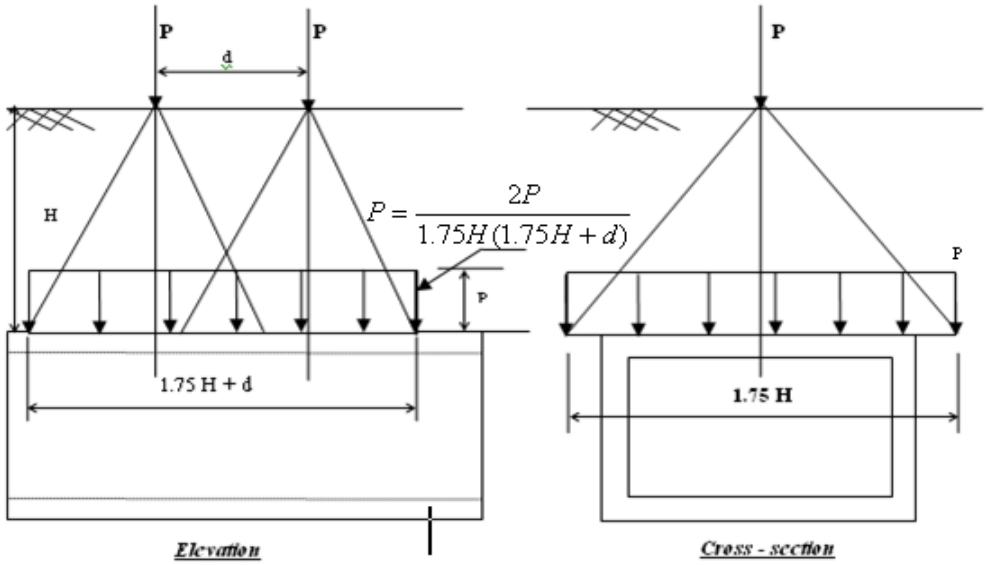
การกระจายของ WHEEL LOAD



AASHTO Truck Loading



Single Concentrated Load



Double Concentrated Loads

ข้อกำหนด

● When H ≤ 2 ft. Loads shall be treated as concentrated loads applied directly to the conduit.

● Where H > 10 ft. Wheel loads may be neglected.

● When H > 3 ft. neglect effect of impact from moving wheel loads.

● When H ≤ 3 ft. add 20 percent to wheel loads for impact effect.

● In unusual cases determine pressures from Boussinesq equations or other more precise methods.

(2) การออกแบบอาคารท่อลอดถนนหน้าตัดสี่เหลี่ยม เกณฑ์การออกแบบนั้นพอที่จะแยกออกเป็นข้อๆ ดังนี้

(1) ความลึกของดินทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 2 ฟุต (ประมาณ 60 เซนติเมตร)

(2) รถที่วิ่งข้ามท่อใช้ ASSHTO Standard น้ำหนักของล้อรถ สำหรับถนน H20 – 40 และแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกนั้น ให้คิดจากน้ำหนักกดของล้อหลังทั้งคู่แผ่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีความยาวของด้าน 1.75 เท่าของความลึก) และมีเกณฑ์เพิ่มเติมดังนี้

● ความหนาของดินทับหลังไม่เกิน 2 ฟุต ให้คิดน้ำหนักกดล้อรถโดยตรงสู่ผิวท่อโดยไม่ต้องแผ่เป็นมุม 45 องศา

● ความหนาของดินทับหลังท่อเกิน 10 ฟุต ไม่ต้องคิดน้ำหนักกดของล้อรถเลย

● ความหนาของดินทับหลังท่อไม่เกิน 3 ฟุต ต้องเพิ่มแรงกระแทก (Impact Load) เนื่องจากรถที่ข้ามหลังท่ออีกดังนี้

ความหนาของดินทับหลังท่อ(ฟุต – นิ้ว)	แรงกระแทก (% ของน้ำหนักกด)
0 – 0 ถึง 1 - 0	30
1 – 1 ถึง 2 - 0	20
2 – 1 ถึง 2 - 11	10
ตั้งแต่ 3 – 0 ขึ้นไป	0

(3) คิดเฉพาะกรณีที่ในท่อไม่มีน้ำเลยแต่มีดินทับหลังด้วยความหนาตามที่เป็นจริง

(4) ในกรณีที่ใช้ท่อเดียวไม่พออาจจะใช้ท่อคู่ ท่อสามแถวหรือมากกว่านั้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับสภาพน้ำที่ไหลผ่าน และมีเกณฑ์กว้างๆ ว่าพยายามให้หน้ากว้างของท่อใกล้เคียงกับขนาดความกว้างของคลองที่ต่อเชื่อมกับท่อนี้จะให้ผลดีทางด้านชลศาสตร์ด้วย ส่วนในด้านโครงสร้างให้ใช้หลักการวิเคราะห์โครงสร้างหาโมเมนต์และแรงเฉือนออกมา และหาเหล็กเสริมตามหลักเกณฑ์ทางการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

ท่อลอดถนน (Road Crossing) เป็นอาคารตัดผ่าน (Crossing structure) อีกชนิดหนึ่งในกรณีที่แนวคลองตัดผ่านถนนต่างๆ ในโครงการฯ ซึ่งถ้าสร้างสะพานแล้วจะเสียค่าก่อสร้างสูงกว่าการวางท่อ ในกรณีที่อัตราการไหลมากจะใช้เป็นท่อเหลี่ยม ถ้าอัตราการไหลน้อยจะใช้ท่อกลม ท่อลอดถนนอาจมีแถวเดียวหรือสองแถว หรือมากกว่าก็ได้ แล้วแต่ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน

ข้อกำหนดต่างๆ สำหรับท่อลอดถนนหรือท่อลอดถนนทดน้ำ ดังนี้

- Maximum Velocity ภายในท่อ = 1.50 ม./วินาที
- Total Head Loss $H = 0.4\Delta h_V + h_f + 0.7\Delta h_V$ ม.

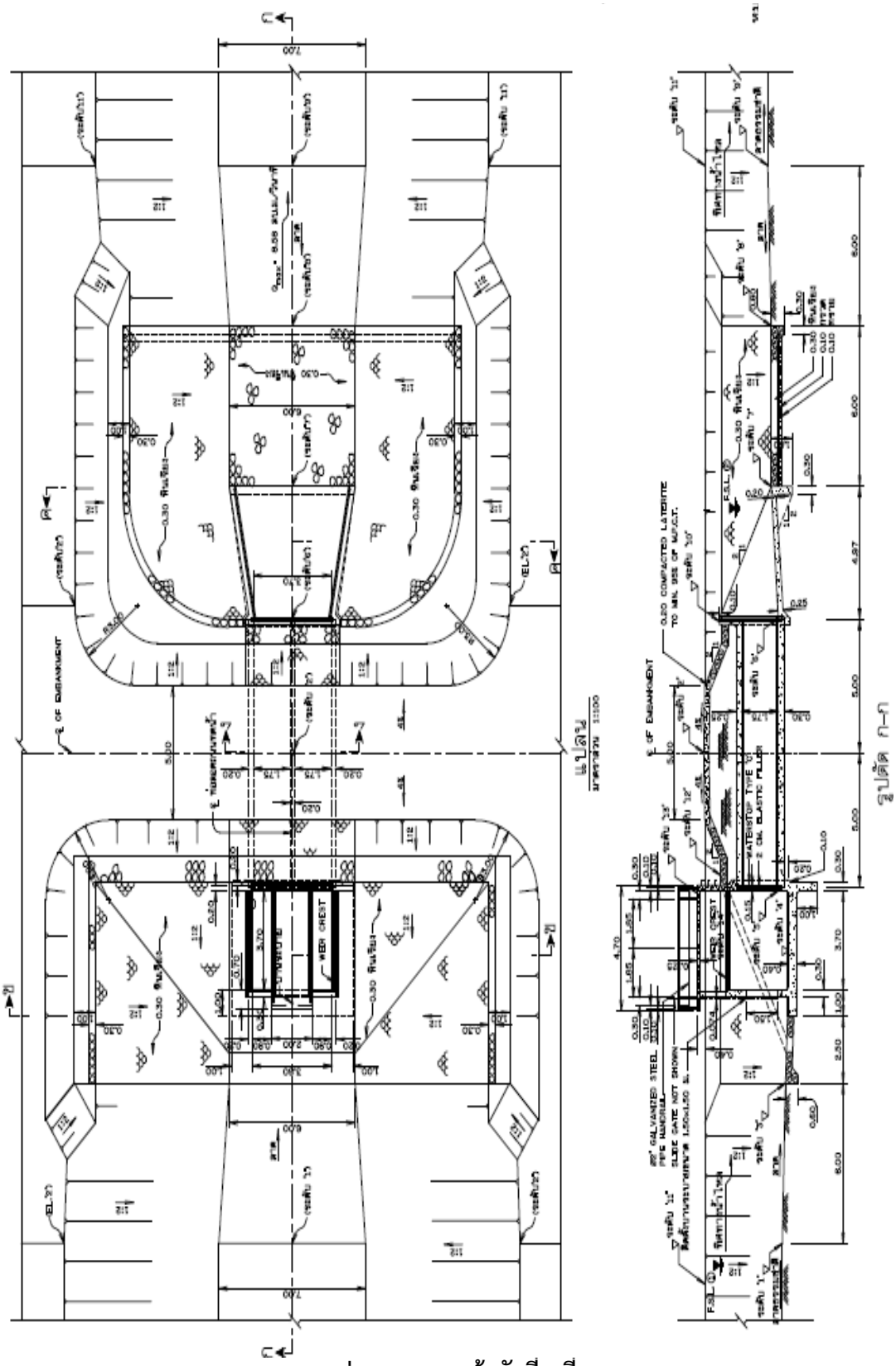
  เมื่อ $h_f = S_f . L_P =$ Friction Head Loss

  $S_f = \dfrac{V^2 n^2}{R^{\frac{4}{3}}} =$ Energy Slope

  $L_P =$ ความยาวของท่อทั้งหมด, ม.
- Minimum Inlet Submergence = $1.5h_V$ แต่ไม่น้อยกว่า 0.08 ม.
- Maximum Outlet Submergence = $\frac{1}{6}$(Diameter of Outlet Opening)
- Maximum Conveyance Angle = 27.5^0 และ Maximum Divergence Angle = 22.5^0
- Cut off Depth and Thickness at Transition ตามข้อกำหนดอาคารทดน้ำและอาคารทดน้ำลดระดับ

ข้อกำหนดสำหรับการออกแบบด้านโครงสร้าง

- คิดกรณีที่ไม่มีน้ำในท่อ
- ความลึกของดินถมทับหลังท่อทั่วไปจะต้องไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร สำหรับ Farm Road และไม่น้อยกว่า 90 ซม. สำหรับ Traffic Road



แบบท่อลอดถนนหน้าตัดสี่เหลี่ยม

3.9 การออกแบบทางด้านธรณีเทคนิค

สำหรับกำแพงกันดินชนิดแข็งแกร่ง (Rigid Walls) ซึ่งเป็นผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก การโก่งของกำแพงมีน้อยมาก เกณฑ์การพิจารณาในการออกแบบรายละเอียดดังนี้

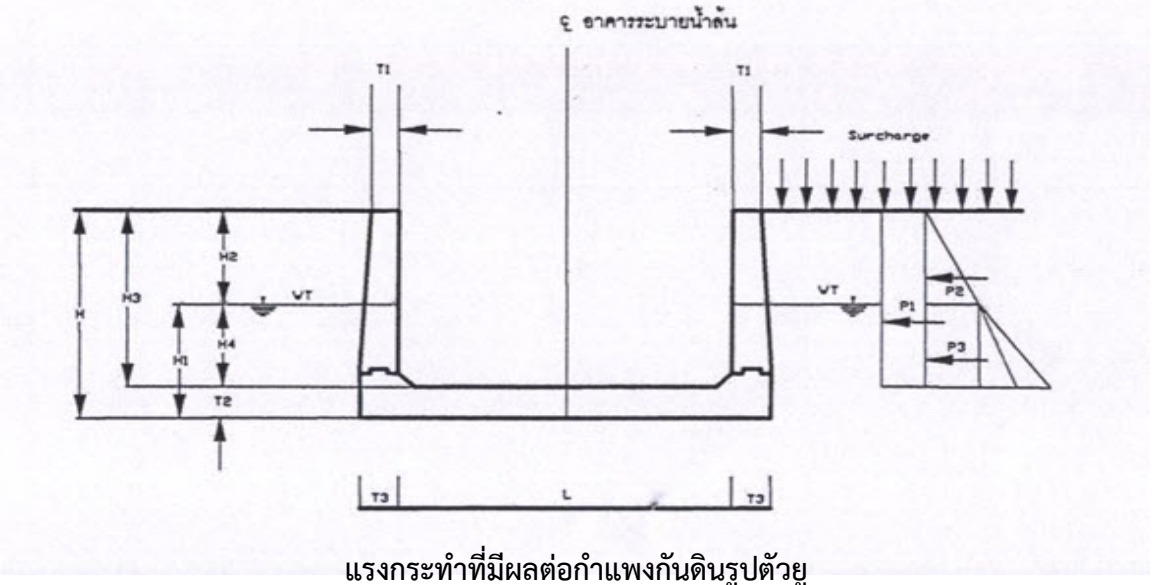
- องค์ประกอบโครงสร้างของกำแพง อาทิเช่น ฐาน (Base) ผนังกันดิน (Stem) จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดจากดินหรือน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ
- โครงสร้างของกำแพงจะต้องปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ (Overturning)
- โครงสร้างของกำแพงจะต้องปลอดภัยต่อการลื่นไถล (Sliding)
- วัสดุที่เป็นฐานรากรอบกำแพงจะต้องมีกำลังมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนพิบัติ (Shearing Failure) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำ
- การทรุดตัวของกำแพง จากความอัดตัวของฐานรากภายใต้มวลดิน

1) กำแพงกันดินรูปตัวยู (U – Shape Retaining Wall) กำแพงกันดินรูปตัวยู ทำหน้าที่ส่วนหนึ่งของ Chute โดยมีดินถมข้างกำแพงดินทั้งสองข้างจากสภาพดังกล่าวทำให้อาคารมีแรงกระทำต่างๆ ได้แก่ แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift Pressure) เป็นต้น ดังรูปข้างล่าง การออกแบบอาคารชนิดนี้จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับแรงต่างๆ ข้างต้น สำหรับขนาดอาคารพอจะกำหนดเป็นแนวทางเบื้องต้นได้ดังนี้

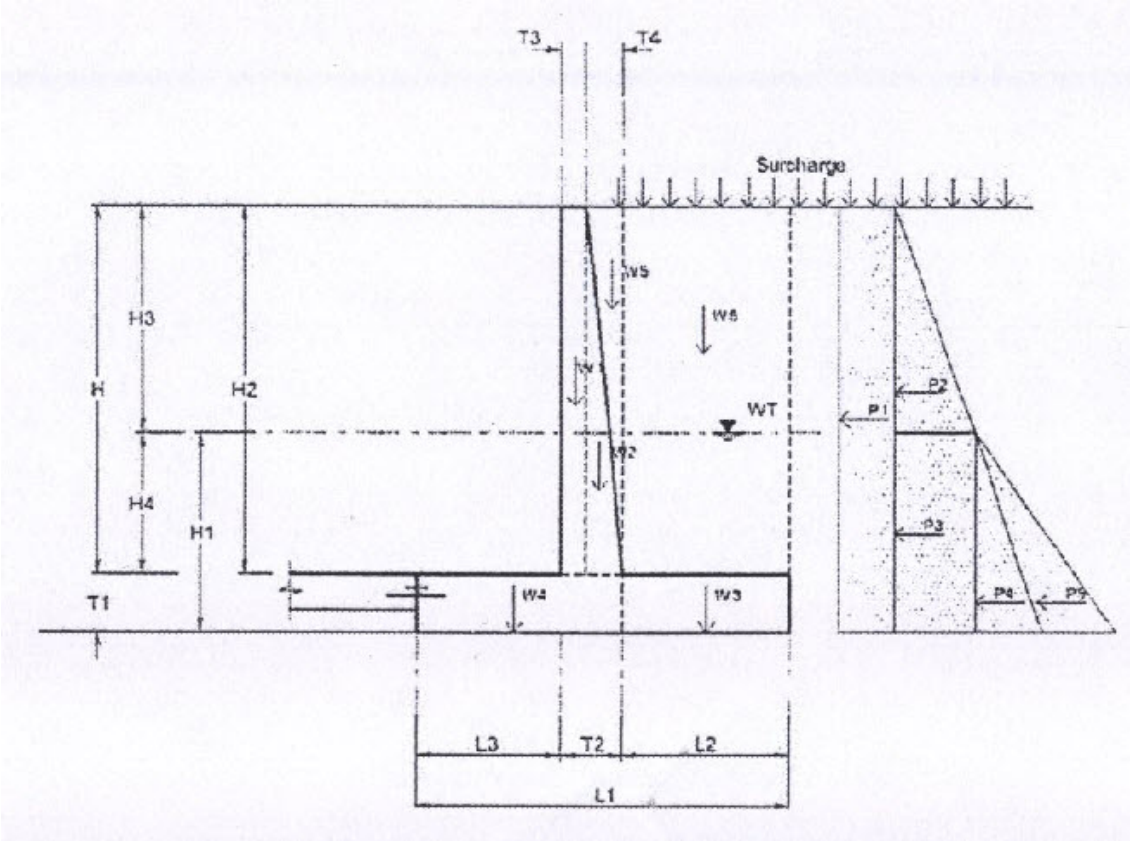
(1) ความหนาหลังกำแพงกันดินจะต้องหนาไม่น้อยกว่า 0.25 เมตร

(2) ความหนากำแพงดันดินที่พื้นและความหนาพื้นต้องหนาพอที่จะไม่ทำให้ระยะห่างของเหล็กเสริมหลักมีค่าน้อยกว่า 0.10 เมตร

2) กำแพงกันดินชนิดกำแพงยื่น (Cantilever Retaining Wall) กำแพงยื่น (Cantilever) จะต้องมีความหนาที่ฐานอย่างน้อยเท่ากับ 12.5 เซนติเมตร ต่อความสูง 100 เซนติเมตร จนถึงสูง 240 เซนติเมตร ความหนากำแพงที่ฐานอย่างน้อยเท่ากับ 20 เซนติเมตร และเพิ่มอีก 6.25 เซนติเมตร สำหรับความสูงของแต่ละเมตรของกำแพงสูงกว่าสูงกว่า 240 เซนติเมตร และจะต้องการเสริมเหล็กสองชั้นอาคารมีแรงกระทำต่างๆ ได้แก่ แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift Pressure) เป็นต้น



แรงกระทำที่มีผลต่อกำแพงกันดินรูปตัวยู



แรงกระทำที่มีผลต่อกำแพงกันดินชนิดกำแพงยื่น

3) กำแพงกันดินชนิดเอียง (Slope Wall) กำแพงกันดินชนิดเอียง (Slope Wall) การออกแบบจะต้องพิจารณาเสถียรภาพของความลาดเอียงของคันดิน (Slope stability) เสียก่อนถึงมาพิจาณาออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กตามแรงกระทำต่างๆ ที่กระทำต่ออาคาร ได้แก่ แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำด้านข้างอาคาร แรงดันน้ำใต้พื้นอาคาร (Uplift Pressure) เป็นต้น

(1) แรงที่กระทำต่อกำแพง (Earth Pressure on Backfill Walls) ในการออกแบบอาคารกันดิน เช่น กำแพงกันดินและเข็มพืด จำเป็นต้องหาขนาดของแรงดันด้านข้างของดิน (Lateral Pressure on Backfill Wall) ที่อาคารจะต้องรับ โดยสามารถแบ่งแรงดันดินด้านข้างออกเป็น 2 ประเภท คือ

● แรงดันดินด้านข้างแบบ Active หมายถึง แรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินทางด้านข้าง แล้ว ทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินถมหลังกำแพง แรงดันดินที่กระทำต่อผนังกำแพงจะลดลงทีละน้อยจนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนตัวอีก ดินถมหลังกำแพงก็จะพังทลาย แรงดันที่น้อยที่สุด ณ จุดดินเกิดการพังทลาย เรียกว่า แรงดันด้านข้างแบบ Active (σ_{ha})

$$\sigma_{ha} = K_a \cdot \sigma_v$$

เมื่อ σ_{ha} = แรงดันดินด้านข้างแบบ Active, กิโลกรัม
K_a = สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ Active
σ_v = แรงดันดินในแนวดิ่ง, กิโลกรัม

● แรงดันดินด้านข้างแบบ Passive หมายถึง แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อหน้ากำแพงกันดิน เพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ของกำแพง แรงดันดินจะเพิ่มขึ้นทีละน้อย จนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนตัวอีกดินด้านหน้ากำแพงก็จะปูดขึ้นจนพังทลาย ค่าแรงดันที่มากที่สุด ณ จุดดินเกิดพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินด้านข้าง Passive (σ_{hp})

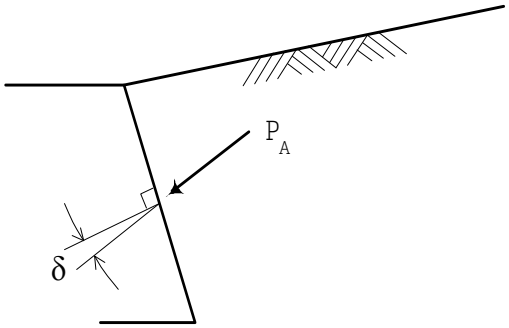
$$\sigma_{hp} = K_p \cdot \sigma_v$$

ในเมื่อ σ_{hp} = แรงดันดินด้านข้างแบบ Passive, กิโลกรัม

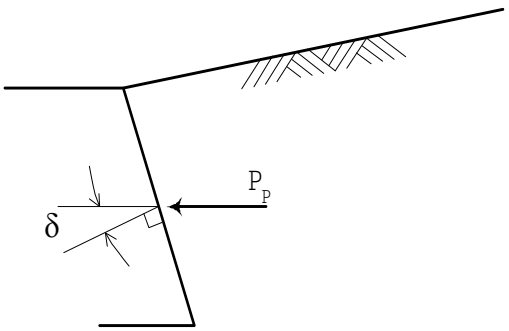
K_p = สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ Passive

σ_v = แรงดันดินในแนวดิ่ง, กิโลกรัม

● แรงเสียดทานของกำแพงกันดิน (Wall friction) ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนกันดินไม่เป็นแนวดิ่งและผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนไม่เป็นแนวราบก็จะทำให้เกิดมีแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงหรือเขื่อนขึ้น และแรงลัพธ์ของแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงหรือเขื่อนจะมีแนวเอียง โดยเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าของกำแพงหรือเขื่อน มุมเอียงที่ทำกับเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าของกำแพงหรือเขื่อนนี้ เรียกว่า มุมของแรงเสียดทานของกำแพง (Angle of wall friction) ดังรูป



(ก) ในกรณี Active



(ข) ในกรณี Passive

มุมของแรงเสียดทานของกำแพง

ในกรณีที่แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงเป็นแบบ Active แรงลัพธ์จะมีทิศทางลงมา และในกรณีที่เป็นแบบ Passive จะมีทิศทางขึ้นไป

สำหรับดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น δ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 17° ถึง 30° หรืออาจสมมติค่าอยู่ระหว่าง 1/2ϕ ถึง 3/4ϕ เมื่อ ϕ คือ มุมเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction) หรือมุมต้านทานต่อแรงเฉือน (Angle of Shearing Resistance)

The Code of Practice "Earth Retaining Structures" ได้แนะนำค่า δ สำหรับกำแพงชนิดต่างๆ ไว้ ดังตาราง

แสดงค่า δ สำหรับกำแพงชนิดต่างๆ

ชนิดของกำแพง	δ
คอนกรีตหรืออิฐ	20°
เข็มเหล็กฉาบด้วยน้ำมันดิน	30°
เข็มเหล็กไม่ฉาบ	15°

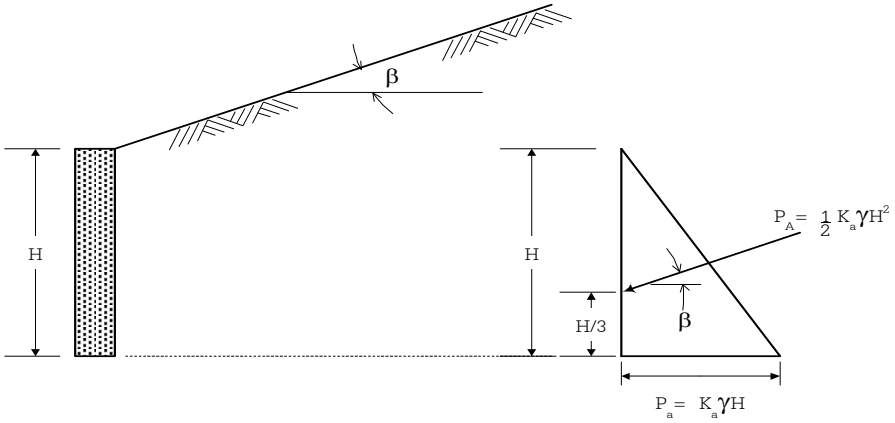
(2) ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันดิน ในการหาแรงดันดินด้านข้างนี้ อาศัยทฤษฎีที่สำคัญ คือ

● ทฤษฎีของแรงกิ้น (Rankine's Theory) พิจารณาแรงที่กระทำต่อก้อนดิน (Soil element) ในดินโดยสมมติให้แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อกำแพงกันดิน หรือเขื่อนกันดินมีความสัมพันธ์ต่อแรงดันทางดิ่ง ทฤษฎีของแรงกิ้น ส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินหรือเขื่อนเป็นแนวดิ่ง และผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนเป็นแนวราบ ดังนั้นจึงไม่มีความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดินหรือเขื่อน

● ทฤษฎีลิ่มของคูลอมบ์ (Coulomb's Wedge Theory) พิจารณาแรงที่กระทำต่อมวลดิน (Soil mass) และรูปแบบของการพังทลายของดินจะเป็นรูปลิ่ม โดยมีระนาบการพังทลาย และมีแรงกระทำรอบลิ่มดินที่พังทลายนี้ ทฤษฎีลิ่มของคูลอมบ์ ส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินหรือเขื่อนไม่เป็นแนวดิ่งและผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนไม่เป็นแนวราบ ดังนั้นจึงมีความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดินหรือเขื่อน

(3) การหาแรงดันดินแบบ Active ของดิน ชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

● วิธีของ Rankine (ผิวดินลาดขึ้น) ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวดิ่ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวลาดขึ้นเป็นมุมเท่ากับ β ดังรูป



สามารถหาค่าแรงดัน Active (P_a) ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังต่อไปนี้

$$P_a = K_a \cdot \gamma \cdot H$$

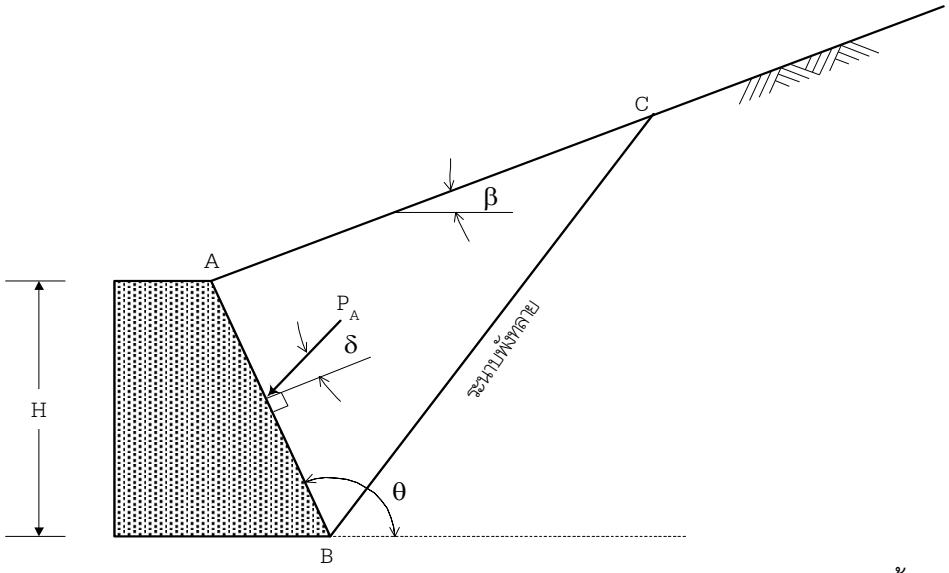
เมื่อ $$K_a = \cos\beta \times \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

และแรง Active (P_A) สามารถหาได้ดังนี้

$$P_A = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

กระทำเป็นมุม β กับแนวราบที่ระยะ H/3 จากขอบล่างของกำแพงกันดิน มุมสูงสุดที่เป็นไปได้ของ β จะเท่ากับ ϕ

- วิธีลิ่มของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ) ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวดิ่ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวราบดังรูป



สามารถหาค่าแรงดัน Active (P_a) ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังต่อไปนี้

$$P_a = K_a \gamma H \qquad \text{สมการที่ 6}$$

$$K_a = \cos\beta \cdot \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

เมื่อ θ = มุมระหว่างด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ ,องศา

δ = มุมของแรงเสียดทานของกำแพง ,องศา

β = มุมระหว่างลาดของผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ ,องศา

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดินด้านหลังกำแพงกันดิน ,องศา

และ Active thrust (P_A) ซึ่งจะกระทำเป็นมุมกับเส้นตั้งฉากกับกำแพงกันดิน มุมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกำแพง และมีค่าน้อยกว่า ϕ

ค่าที่ได้จากสมการของ Coulomb จะลดลงเหลือเท่ากับค่า K_a ที่ได้จากสมการของ Rankine เมื่อ K_a $\theta = 90^\circ$ และ $\delta = \beta$

นั่นคือ $$K_a = \cos\beta \cdot \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

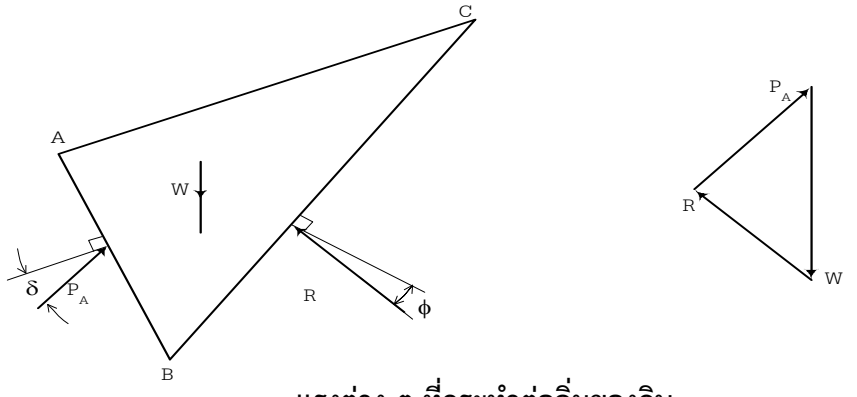
และลดลงเป็น $$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = 90^\circ$$

และ $$\delta = 0^\circ$$

หรืออาจหาค่า Active thrust (P_A) ได้จากสมการของแรง โดยอาศัยทฤษฎีลิ่มของคูลอมบ์ ดังต่อไปนี้

เนื่องจากเมื่อดินด้านหลังกำแพงกันดินพังทลาย ก็จะเกิดการเคลื่อนไหลไปตามระนาบพังทลายและ ลิ่มของดินก็จะเคลื่อนที่

ก่อนที่จะพังทลาย ลิ่มของดินซึ่งอยู่เหนือระนาบพังทลายจะอยู่ในสภาวะสมดุลด้วยแรงต่างๆ 3 แรง ดังรูป



แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อลิ่มของดิน

W = น้ำหนักของลิ่มดิน = พ.ท. $ABC \times \gamma$, กิโลกรัม

P_A = แรงต้านจากกำแพงกันดิน , กิโลกรัม

R = แรงโต้ตอบบนระนาบพังทลาย, กิโลกรัม

สามารถหาค่า P_A ได้จากรูปสามเหลี่ยมของแรง

(4) การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

● วิธีของ Rankine (ผิวดินลาดขึ้น) ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวดิ่ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงเป็นแนวลาดขึ้นเป็นมุมเท่ากับ β กับแนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังนี้

$$P_p = K_p \cdot \gamma \cdot H$$

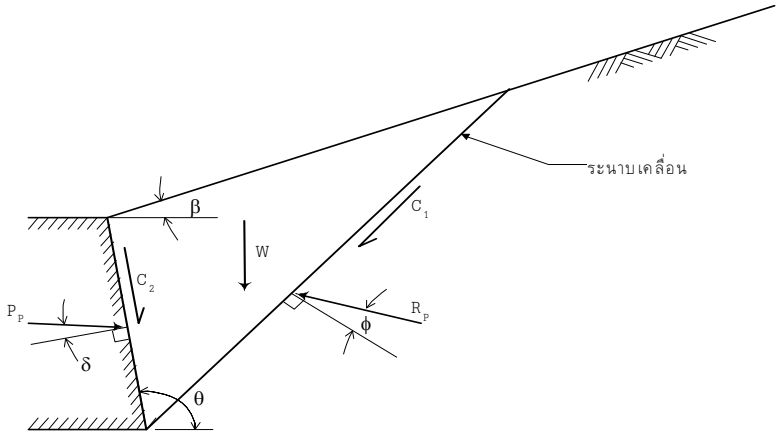
ในเมื่อ $$K_p = \cos\beta \cdot \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}$$

● วิธีของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ) ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวดิ่งและระดับผิวดินด้านหลังกำแพงไม่เป็นแนวราบ ลาดขึ้นทำมุม β กับแนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive ได้จากทฤษฎีของ Coulomb ดังนี้

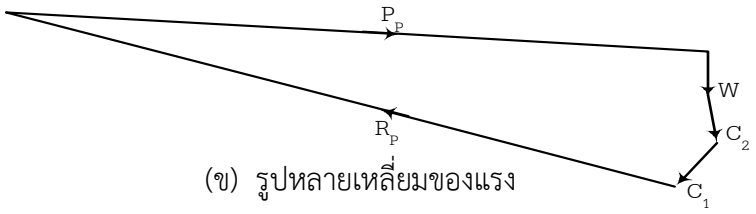
$$P_p = K_p \cdot \gamma \cdot H$$

ในเมื่อ $$K_p = \frac{\sin^2(\theta - \phi)}{\sin^2\theta \cdot \sin(\theta + \delta)\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi)\cdot\sin(\phi - \beta)}{\sin(\theta + \delta)\cdot\sin(\theta - \beta)}}\right]^2}$$

ความหมายของสัญลักษณ์ต่างๆ เช่นเดียวกับในการหาแรงดัน Active หรืออาจจะหาค่าแรง Passive (P_p) ได้จากรูปหลายเหลี่ยมของแรง โดยอาศัยทฤษฎีลิ่มของดิน ดังรูป



(ก) แรงต่างๆที่กระทำบนลิ่มของดิน



(ข) รูปหลายเหลี่ยมของแรง

การหาค่าแรง Passive (P_p) ได้จากรูปหลายเหลี่ยมของแรง โดยอาศัยทฤษฎีลิ่มของดิน

ณ จุดพังทลาย ลิ่มของดินจะเคลื่อนที่ขึ้น (ปูดขึ้น) และแรงต่างๆ ที่กระทำต่อลิ่มของดิน

W = แรงเนื่องจากมวลของดินในลิ่ม

C_1 = แรงเชื่อมแน่นของดินตามแนวระนาบพังทลาย

= c × ความยาวของระนาบเคลื่อน

C_2 = แรงติดแน่นระหว่างกำแพงและดิน

= c_w × ความยาวตามแนวกำแพงด้านหลัง

R_p = แรงโต้ตอบ Passive กระทำเป็นมุม ϕ กับเส้นตั้งฉากของระนาบเคลื่อนโดยกระทำด้านบน

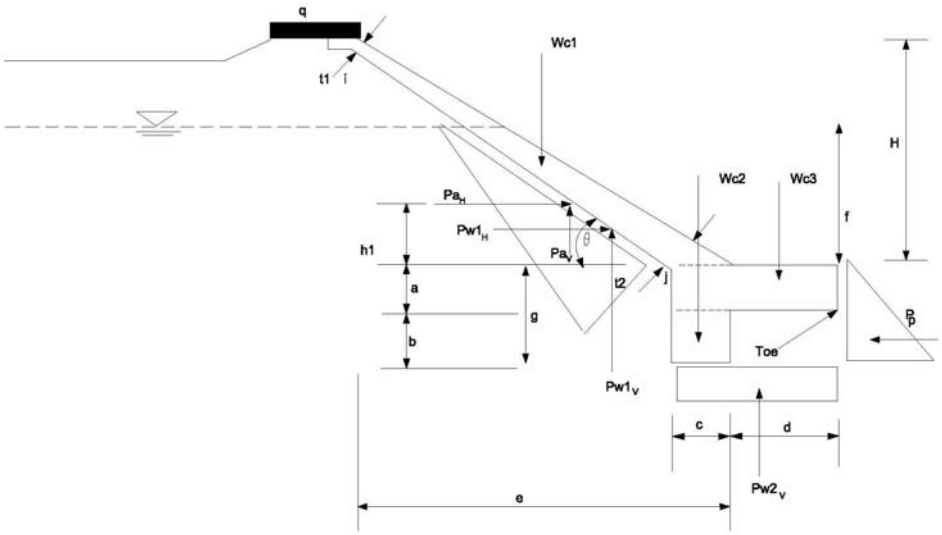
P_p = แรง Passive กระทำเป็นมุม δ กับเส้นตั้งฉากของกำแพงโดยกระทำด้านบน

W , C_1 และ C_2 สามารถคำนวณหาได้ ส่วน R_p และ P_p รู้ทิศทางของแนวแรง ดังนั้นสามารถเขียนรูปหลายเหลี่ยมของแรงได้ดังรูปที่ 24 (ข) และแรง Passive (P_p) จะหาได้จากรูป

(5) แรงดันน้ำ (Water Pressure)

แรงดันน้ำที่กระทำต่อโครงสร้างสามารถหาได้โดยใช้หลักการ การกระจายแรงดันรูปสามเหลี่ยม (Triangular distribution) ซึ่งกระทำในทิศทางตั้งฉากกับผิวของโครงสร้าง สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ หรือโครงสร้างที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดินจะเกิดแรงลอยตัว (Uplift) หรือ Vertical Component กระทำที่ฐานของโครงสร้าง แรงลอยตัวนี้คำนวณได้จาก Hydrostatic Pressure แรงลอยตัวที่จุดใดๆ ที่

กระทำต่อโครงสร้างจะเท่ากับแรงดันทางท้ายน้ำ (Tail Water Pressure) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) ระหว่างหัวน้ำ (Headwater) และท้ายน้ำ (Tail Water) ในกรณีนี้ความสัมพันธ์ของลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) สมมติให้เป็นเส้นตรงระหว่าง Headwater และ Tail Water



กรณีด้านท้ายน้ำจะคิดแรงดันน้ำที่ซึมลอด Sheet Pile มาซึ่งจะมีแรงดันที่ฐานเท่ากับ Uplift Pressure และมีความหนาแน่นของดินจะคิดเป็นความหนาแน่นของดินเปียกน้ำทั้งหมด

γ_{sat} = 2.10 ตัน/ลบ.ม.

γ_{w} = 1.0 ตัน/ลบ.ม.

γ_{con} = 2.40 ตัน/ลบ.ม.

การหาแรงดันดินใช้กรณีที่ด้านหลังกำแพงไม่เป็นแนวดิ่ง ได้จากสมการคูลอมบ์ ดังนี้

$$P_a = K_a \cdot \gamma \cdot H$$

ในเมื่อ

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta-\phi)}{\sin^2\theta \cdot \sin(\theta+\delta)\left[1-\sqrt{\frac{\sin(\delta+\phi)\cdot\sin(\phi-\beta)}{\sin(\theta+\delta)\cdot\sin(\theta-\beta)}}\right]^2}$$

แปลงน้ำหนักบรรทุกบนกำแพงเป็นความสูงสมมูลของดิน ดังนี้

ความสูงสมมูลของดินจากน้ำหนักบรรทุก คือ

$$h_s = \frac{q}{\gamma_{sat}}$$

เนื่องจากมุม ซึ่ง P_a กระทำกับแนวราบมีค่าเท่ากับ $\delta+\phi-90°$

ส่วนประกอบของแรงตามแนวราบและแนวดิ่งจะมีค่าดังนี้

$$P_{a_H} = \cos(\delta + \phi - 90°)$$

$$P_{a_V} = \text{cosin}(\delta + \phi - 90°)\,\frac{H}{3}\cdot\frac{(H+3hs)}{(H+2hs)}$$

แรงดันน้ำที่กำแพงเอียง= $\frac{1}{2}\cdot$ Uplift ที่ฐาน $\cdot$ ความยาวกำแพงส่วนที่รับแรงดันน้ำ

P_w แตกแรงดันในแนวราบ $P_w \sin\theta$

P_w แตกแรงดันในแนวดิ่ง $P_w \cos\theta$

●**ตรวจสอบการลื่นไถล** เมื่ออาคารจะเลื่อนไถลตัวจะเกิดแรงต้านของดินดันที่ฐานรากและ KEY ของอาคารด้วยแรง P_P

โดย $P_P = \frac{1}{2}\cdot\gamma_{sat}\cdot H^2\cdot K_p$ (ค่า H ที่ตำแหน่ง P_P =0)

เมื่อ $K_p = \tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right)$

q = น้ำหนักบรรทุก หรือความดันน้ำบนผิวดิน (ตัน/ตร.ม.)

P_a = แรงดันดินด้านข้างในสภาวะ Active หรือแรงต้านจากกำแพงกันดิน(ตัน/ลบ.ม.)

P_{a_H} = แรงดันดินด้านข้างสภาวะ Active ในแนวราบ (ตัน/ลบ.ม.)

P_{a_V} = แรงดันดินด้านข้างสภาวะ Active ในแนวดิ่ง (ตัน/ลบ.ม.)

P_P = ความดันดินกสานต์ หรือแรงดันดินด้านข้างในสภาวะ Passive กระทำเป็นมุม δ กับเส้นตั้งฉากของกำแพงโดยกระทำด้านบน (ตัน/ลบ.ม.)

P_w = แรงดันน้ำที่กำแพงเอียง (ตัน/ลบ.ม.)

P_{w1_H} = แรงดันน้ำในแนวราบ (ตัน/ลบ.ม.)

P_{w1_V} = แรงดันน้ำในแนวดิ่ง (ตัน/ลบ.ม.)

h_1 = ความสูงของแรงดันดินแบบ Active จากฐานรากกำแพง (ม.)

h_s = ความสูงสมมูลของดินจากน้ำหนักบรรทุก (ม.)

t_1, t_2 = ความหนาของกำแพง (ม.)

W_{c1}, W_{c2}, W_{c3} = น้ำหนักโครงสร้าง (ตัน/ม.)

K_a = สัมประสิทธิ์ของความดันดินด้านข้างในสภาวะ Active

K_p = สัมประสิทธิ์ของความดันดินด้านข้างในสภาวะ Passive

γ_{sat} = หน่วยน้ำหนักดินชื้น (ตัน/ลบ.ม.)

γ_w = หน่วยน้ำหนักน้ำ (ตัน/ลบ.ม.)

γ_{con} = หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (ตัน/ลบ.ม.)

H = ความสูงของกำแพง (ม.)

θ = มุมระหว่างด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ

δ = มุมของแรงเสียดทานของกำแพง

β = มุมระหว่างลาดผิวด้านหลังกำแพง

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดินด้านหลังกำแพงกันดิน

3.10 การออกแบบอาคารประกอบ

1) การออกแบบทางข้าม

(1) การออกแบบบันได ขั้นบันไดประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า ลูกตั้ง ลูกนอน และจมูกบันได โดยได้มีการกำหนดระยะลูกตั้งและลูกนอนสำหรับอาคารชนิดต่างๆไว้ดังนี้

- ระยะลูกตั้ง ไม่มากกว่า 0.20 เมตร สำหรับที่อยู่อาศัยและ 0.19 เมตร สำหรับอาคารสาธารณะ
- ระยะลูกนอน ไม่น้อยกว่า 0.22 เมตร สำหรับที่พักอาศัย และ 0.24 เมตร สำหรับอาคารสาธารณะ

(2) สะพานคนเดินข้าม ใช้หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณออกแบบตามหลักการของสะพานทางหลวงทั่วไปกับน้ำหนักของตัวสะพาน (Dead Load) และน้ำหนักบรรทุกบนสะพาน (Live Load) จะมารวมลงบนตอม่อทั้งสิ้น โดยต้องกำหนดให้เป็นคานอย่างง่าย (Simple Beam) พาดระหว่างตอม่อรับน้ำหนักต่างๆ ดังนี้

- น้ำหนักของตัวสะพาน (Dead Load) ซึ่งใช้ขนาดความกว้างมาตรฐานไม่น้อยกว่า 2.00 ม. ความหนาคิดตามโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักต่างๆ

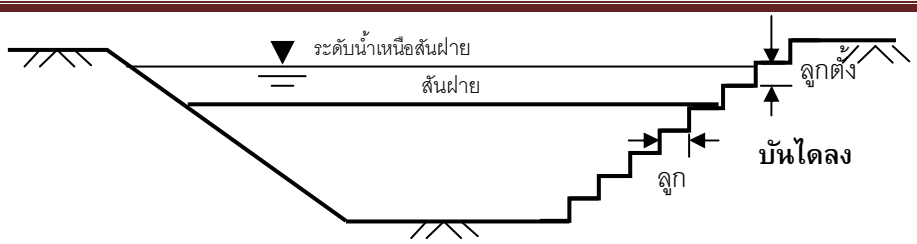
(3) สะพานวางเครื่องกว้าน ใช้หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณออกแบบเหมือนสะพานรถยนต์โดยน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) อื่นๆ ประกอบด้วย

- น้ำหนักของเครื่องกว้านและล้อม้วนลวด (Drivers and Drums) จะกำหนดขึ้นจากอัตรากำลังยก (Lifting Capacity) ของเครื่องกว้านนั้นๆ
- น้ำหนักบรรทุกของบานระบายขึ้นอยู่กับขนาดของบานระบาย

2) การออกแบบบันไดลงสระหรือบันไดลงฝาย

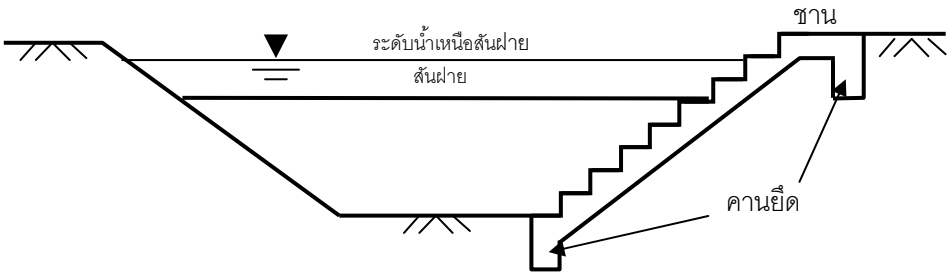
บันไดลงสระหรือบันไดหน้าฝาย เป็นอาคารที่ใช้เพื่อเป็นเส้นทางลงไปในสระ หรือคลองส่งน้ำหน้าฝาย เพื่อการตรวจสอบและดูแลบำรุงรักษาตัวอาคารหรือลาดตลิ่งของคลองหรือสระ สามารถก่อสร้างได้หลายรูปแบบ เช่น บันไดหินก่อ บันไดหินเรียง หรือบันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้ตามความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและการใช้งาน

(1) เกณฑ์การออกแบบบันได การออกแบบจะใช้วัสดุที่คงทนต่อสภาพแวดล้อม รูปแบบของฐานรากจะกำหนดให้มีองค์อาคารยึดผนังในดินฐานรากตามลักษณะของดิน เพื่อความมั่นคงแข็งแรง และไม่ถูกกระแสน้ำกัดเซาะดินฐานราก ส่วนใหญ่บันไดจะวางบนดินฐานราก น้ำหนักของบันไดและน้ำหนักบรรทุกจะถูกถ่ายลงชั้นดินฐานราก ดังนั้นในการเสริมเหล็กจะพิจารณาเสริมเหล็กเพื่อรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่านั้น มิติต่างๆของบันไดให้พิจารณาตามความเหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพความลาดชันของตลิ่ง โดยทั่วไป ระยะลูกตั้งอยู่ระหว่าง 0.19-0.20 ม. และระยะลูกนอนอยู่ระหว่าง 0.22-0.24 ม. ดังตัวอย่างในรูป



แสดงบันไดลงสระหรือบันไดลงหน้าฝาย

โดยทั่วไป บันไดจะถูกออกแบบให้มีความกว้าง 1.00 ม. และมีคานยึดดิน และชานพักเพื่อความแข็งแรง ดังข้างล่าง เพื่อความแข็งแรงยิ่งขึ้นจะทำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กของบันไดในลักษณะทั่วๆไป โดยประมาณความหนาของบันได (D) จาก $D = L/20$ เมื่อ L เป็นความยาวของบันได ระยะคอนระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (c) 5.00 ซม. ความหนาประสิทธิผล (d) = $D - c$



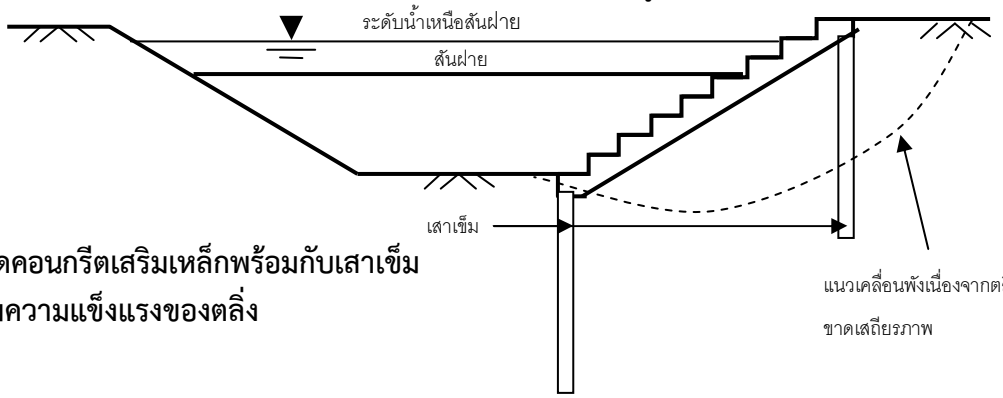
บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กลงสระ หรือหน้าฝาย

(2) ขั้นตอนการออกแบบบันได การออกแบบ มีรายละเอียดดังนี้

- น้ำหนักที่กระทำกับบันไดประกอบด้วยน้ำหนักบรรทุกจรและน้ำหนักบรรทุกคงที่ของบันได
- คำนวณค่าโมเมนต์ดัดแบบคานช่วงเดียว โดยใช้คานยึดดินเป็นชิ้นส่วนรับแรงกดจากคาน
- ตรวจสอบความหนาประสิทธิผล
- คำนวณปริมาณเหล็กเสริมหลักซึ่งเป็นเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กเสริมกันร้าวซึ่งเป็นเหล็กเสริมตามขวาง
- จมูกบันไดใช้เหล็ก RB 9 mm. เสริมทุกมุม

(3) บันไดลงสระแบบมีเสาเข็ม

การเพิ่มความแข็งแรงมั่นคงให้กับบันไดคอนกรีตเสริมเหล็กลงสระหรือลงหน้าฝาย สำหรับตลิ่งที่ชั้นดินฐานรากไม่มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถทำได้โดยการใช้เสาเข็มรับน้ำหนักของบันได และเสริมความแข็งแรงให้กับตลิ่ง โดยที่จะต้องพิจารณาเสถียรภาพของตลิ่งร่วมด้วย โดยที่เสาเข็มนั้นจะช่วยรับน้ำหนักของบันไดและช่วยต้านทานการเลื่อนไหลของตลิ่ง ความยาวของเสาเข็มจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมตามหลักการออกแบบเสาเข็มรับน้ำหนักตามแนวแกนและเสาเข็มรับแรงดันด้านข้างดังรูป



บันไดคอนกรีตเสริมเหล็กพร้อมกับเสาเข็มเสริมความแข็งแรงของตลิ่ง

3.11 การออกแบบคันดิน

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

คันดินคือ องค์ประกอบหนึ่งของระบบป้องกันน้ำท่วม/ทางลำเลียงผลผลิตทางการเกษตร ที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำท่วม ทิศทางการไหลของน้ำหรือเพื่อยกระดับเก็บกักของแหล่งน้ำ/ทางลำเลียงผลผลิตทางการเกษตร เพื่อให้พื้นที่ควบคุมเช่น พื้นที่พาณิชยกรรม พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ชุมชนที่อยู่อาศัยหรือพื้นที่ก่อสร้าง เป็นต้น ปลอดภัยจากอุทกภัยที่ค่ารอบปีที่ออกแบบ(T_r) และยังเป็นองค์ประกอบของทางสัญจรของชุมชนหรือสำหรับการดูแลรักษาของโครงการพัฒนา อนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งน้ำ เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของการบริหารจัดการน้ำ การออกแบบต้องสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำ

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการประยุกต์ใช้มีดังนี้

(1) พื้นที่กว้างเพียงพอสำหรับการก่อสร้าง ระยะร่นหรือชานพัก(Berm)จากลำน้ำหรือแหล่งน้ำเพื่อการระบายน้ำหลากช่วงเกิดอุทกภัยและเสถียรภาพของคันดินหรือตลิ่ง ทำให้การบริหารจัดการน้ำมีประสิทธิภาพ

(2) ระบบระบายน้ำทั้งภายในและภายนอกพื้นที่ควบคุมที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมขังทั้งจากฝนที่ตก(ภายในพื้นที่ควบคุม)และอุทกภัย(นอกพื้นที่ควบคุม)

(3) ต้องมีระบบป้องกันการกัดเซาะของลาดเอียงคันดินด้านที่ต้องรับแรงปะทะจากการไหลของน้ำหลากในช่วงเกิดอุทกภัยภายนอกพื้นที่ควบคุมหรือด้านที่ต้องรับคลื่นที่เกิดจากแรงลมที่มีประสิทธิภาพ โดยใช้วัสดุ/พืชที่เกิดโดยธรรมชาติหรือโครงสร้างถาวรที่เกิดอยู่กับความรุนแรงของการกัดเซาะหรือความสำคัญของพื้นที่ควบคุม เพื่อลดปัญหาการกัดเซาะที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงของเสถียรภาพของคันดินตามมา

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ (Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถลดความเสี่ยงของพื้นที่ควบคุมจากระดับน้ำของอุทกภัยที่ค่ารอบปีที่ออกแบบ เป็นที่ยอมรับของชุมชนและผู้ได้รับผลกระทบจากโครงการ

(2) มีความสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศและความเหมาะสมทางด้านชลศาสตร์ของการไหลหลากช่วงเกิดอุทกภัยหรือคลื่นที่เกิดจากแรงลม

(3) มีค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำ ตามขีดความสามารถทางการเงินและการคลังของท้องถิ่นที่ต้องรับผิดชอบต่อไป

4) การออกแบบคันดิน

4.1) ข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน ประกอบด้วย

(1) รูปตัดของคันดินที่ออกแบบและคุณสมบัติของดินที่นำมาก่อสร้างคันดิน

(2) ข้อมูลด้านปฐพีกลศาสตร์ ได้แก่ ผลการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณที่จะก่อสร้าง และขนาดหน้าตัดของลำน้ำ

(3) ข้อมูลด้านชลศาสตร์ ได้แก่ ความเร็วของกระแสน้ำและระดับน้ำต่ำสุด-สูงสุด

4.2) การวิเคราะห์ด้านธรณีเทคนิค เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าเสถียรภาพของคันดินและลาดตลิ่ง(คันดินอยู่ริมตลิ่ง) ดังนั้นผู้ทำการวิเคราะห์จึงจำเป็นจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของดินและการจำแนก

ชนิดของดิน พร้อมทั้งสามารถประเมินรูปแบบที่อาจจะเกิดการวิบัติได้ เพื่อให้สามารถเลือกคุณสมบัติของดินและหน้าตัดที่เหมาะสมมาใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม

การวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดิน(Safety of Factor, F) เช่น วิธีของ Swedish Circle(Fellenius) Solution : Circle Arc Surface

$$F = \{c' L_a + \tan\phi' \Sigma(W\cos\alpha - u_w l)\} / \Sigma W \sin\alpha$$

เมื่อ L_a = ความยาวทั้งหมดของ failure Surface
W = น้ำหนักของ Slices
l = ความยาวฐานของ Slices
u_w = Static Pore Water Pressure
α = มุมลาดเอียงของฐาน Slice กระทำกับแนวราบ
c'และ ϕ' = Shear Strength parameters ในเทอมของ Effective Stress

และวิธีของ Bishop Semi-rigorous Solution : Circular Arc Surface

$$F = \frac{1}{\Sigma W \sin\alpha} \Sigma \left[\left[c' b + W(1 - r_u) \tan\phi' \right] \frac{\sec\alpha}{1 + (\tan\alpha \tan\phi') / F} \right]$$

เมื่อ r_u = Pore Pressure Ratio = $u_w/(\gamma z)$ = $u_w b/W$
b = ความกว้างของ Slice

ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินมีดังนี้

(1) เขียนรูปตัดคันดินที่ต้องการวิเคราะห์เสถียรภาพ กำหนดแนวชั้นดินฐานรากและลักษณะต่างๆทางด้านเรขาคณิตให้ครบถ้วนตามแนวแกน X และ Y

(2) กำหนด Potential Failure Surface เป็นส่วนของวงกลม โดยมีจุดศูนย์กลางที่ Coordinateต่างๆกัน

(3) แบ่งลาดคันดินเหนือ Failure Surface เป็น Slices ในแนวดิ่ง เพื่อใช้ในการคำนวณในขั้นตอนต่อไป

(4) คำนวณค่า Safety of Factor, F ตามสมการดังกล่าวข้างต้นด้วยค่าคุณสมบัติของวัสดุ(Material Properties)ที่ได้จากการทดลองและค่า Pore Water Pressure หรือ Hydrostatic Water Pressure ทั้งของคันดินและฐานรากให้เหมาะสมตามกรณีที่ทำการวิเคราะห์ เพื่อคำนวณหาแรงของแต่ละ Slice ที่ Failure Surface

(5) ทำการคำนวณหาค่า Safety of Factor ตามข้อ (4) สำหรับ Failure Surfaces ที่มีจุดศูนย์กลางต่างๆกันหลายจุด เพื่อหาค่า Safety of Factor ที่มีค่าน้อยสุด(Minimum Safety of Factor)

วิธีการคำนวณในข้อ(5) เพื่อหาค่า Minimum Safety of Factor จะต้องใช้เวลาในการ Trial มาก ดังนั้นเพื่อความรวดเร็วในการวิเคราะห์หาค่าเสถียรภาพความลาดของคันดินที่กรณีการวิเคราะห์ต่างๆ ผู้ออกแบบ

สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำสุด เช่น KU Slope, G-Slope, Slope W หรือ SB-Slope เป็นต้น

3.12 การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

1) วัตถุประสงค์และลักษณะอาคาร(Purpose and Description)

เขื่อนป้องกันตลิ่งคือ องค์ประกอบหนึ่งของระบบป้องกันการกัดเซาะตลิ่งหรือร่วมกับระบบป้องกันน้ำท่วม ทำหน้าที่ควบคุมไม่ให้เกิดการกัดเซาะตลิ่ง เพื่อให้พื้นที่ควบคุมเช่น พื้นที่พาณิชยกรรม พื้นที่ชุมชนที่อยู่อาศัย เป็นต้น ปลอดภัยจากปัญหาตลิ่งพังที่จะก่อให้เกิดความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ที่อยู่อาศัยริมตลิ่งลำน้ำ การออกแบบต้องสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำ

2) การเลือกที่ตั้งหรือการประยุกต์ใช้(Site Selection or Application)

เกณฑ์ทั่วไปในการประยุกต์ใช้มีดังนี้

(1) พื้นที่กว้างเพียงพอสำหรับการก่อสร้าง เพื่อการระบายน้ำหลากช่วงเกิดอุทกภัย ทำให้การบริหารจัดการน้ำมีประสิทธิภาพ

(2) มีระบบระบายน้ำหลังเขื่อนที่เพียงพอ เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมขังหลังเขื่อนจากฝนที่ตกภายในพื้นที่ควบคุม ที่อาจเกิดผลกระทบกับเสถียรภาพของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

3) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration)

ข้อพิจารณาในการออกแบบมีดังนี้

(1) สามารถป้องกันการกัดเซาะตลิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยวัสดุที่เกิดตามธรรมชาติหรือโครงสร้างถาวรที่ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของปัญหาการกัดเซาะตลิ่ง เป็นที่ยอมรับของชุมชนและผู้ได้รับผลกระทบจากโครงการ

(2) มีความสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะของชุมชนและความเหมาะสมทางด้านชลศาสตร์ของการไหลหลากช่วงเกิดอุทกภัย

(3) มีค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่ำ ตามขีดความสามารถทางการเงินและการคลังของท้องถิ่นที่ต้องรับผิดชอบต่อไป

4) การออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง

4.1) ข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์เลือกรูปแบบมาตรฐานเขื่อนป้องกันตลิ่ง ประกอบด้วย

(1) การสำรวจสภาพทั่วไปบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง (สภาพตลิ่งและลำน้ำ)

(2) ข้อมูลด้านปฐพีกลศาสตร์ ได้แก่ ผลการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณที่จะก่อสร้าง และขนาดหน้าตัดของลำน้ำ

(3) ข้อมูลด้านชลศาสตร์ ได้แก่ ความเร็วของกระแสน้ำ ความลาดชันของท้องน้ำ ระดับน้ำต่ำสุด-สูงสุด และขนาดคละของตะกอนท้องน้ำ

(4) ข้อมูลด้านความต้องการของชุมชนในการใช้พื้นที่ริมตลิ่งเพื่อกิจกรรมสาธารณะต่างๆ รวมถึงข้อมูลอาคารสิ่งปลูกสร้างหรือระบบสาธารณูปโภคบริเวณริมตลิ่ง

(5) ข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้างบริเวณพื้นที่โครงการ

4.2) การวิเคราะห์ด้านธรณีเทคนิค เพื่อคัดเลือกรูปแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งที่มีความเหมาะสมและมีเสถียรภาพของลาดตลิ่ง โดยในการวิเคราะห์จะต้องทำการเตรียมข้อมูลดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมหรือกำลังรับแรงของดิน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าเสถียรภาพความลาดของลาดตลิ่ง ดังนั้นผู้ทำการวิเคราะห์จึงจำเป็นจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของดินและการจำแนกชนิดของดิน พร้อมทั้งสามารถประเมินรูปแบบที่อาจจะ

เกิดการวิบัติได้ เพื่อให้สามารถเลือกคุณสมบัติของดินและหน้าตัดที่เหมาะสมมาใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างเหมาะสม การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดตลิ่งที่กรณีการวิเคราะห์ต่างๆ สามารถดำเนินการได้เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ลาดคันดิน โดยมีข้อแนะนำเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

(1) วิเคราะห์หาค่าเสถียรภาพของตลิ่งเดิมที่ต้องมีน้ำหนักกระทำกับตลิ่งเท่ากับน้ำหนักบรรทุกทั่วไปไม่เกิน 1 ตันต่อตารางเมตร

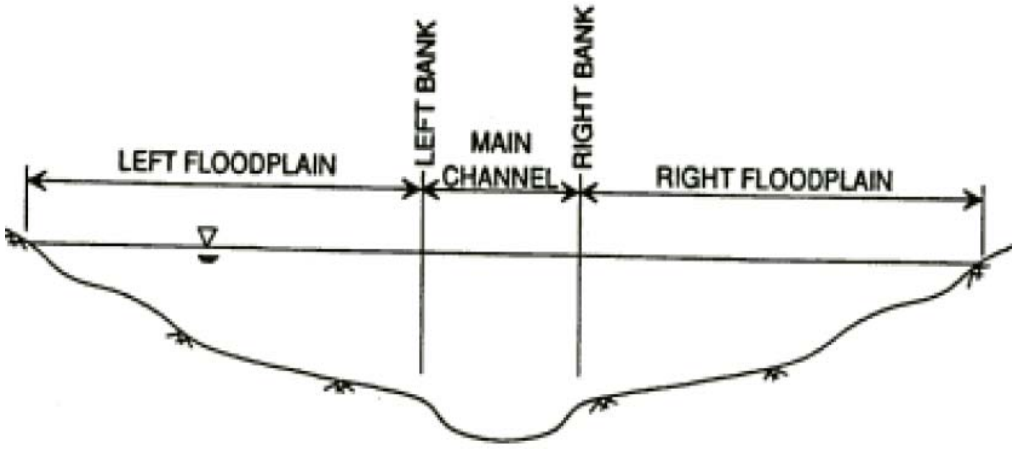
(2) วิเคราะห์ในกรณีระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว(Rapid Drawdown)

(3) วิเคราะห์หาค่าเสถียรภาพของความลาดของลาดตลิ่งที่มีการปรับปรุงลาดตลิ่งเดิม โดยการปรับลดค่าความลาดชันหลังจากปรับปรุงแล้วไม่เกิน 1:2.5 (ระยะในแนวตั้ง : ระยะในแนวนอน) เพื่อคัดเลือกรูปแบบเขื่อนป้องกันตลิ่งที่เหมาะสม

(4) วิเคราะห์หาค่าเสถียรภาพของลาดตลิ่งเดิมและลาดตลิ่งที่ปรับปรุงโดยการเพิ่มความมั่นคงของลาดตลิ่งแล้ว เช่น การเรียงหิน การตอกเสาเข็ม เป็นต้น

4.3) การออกแบบเขื่อนหินเรียงหรือหินทิ้ง

(1) คำนวณหาขนาดของหินเรียงหรือหินทิ้ง(Size of Riprap) โดยคำนวณหาขนาดคละของหินเรียงหรือหินทิ้งที่ขนาดใหญ่กว่าร้อยละ 50 จากสมการของ ConnDOT Drainage Manual(2002)



Definition Sketch; Channel Flow Distribution

$$D_{50} = 0.00594 C V_{avg}^{3} / d_{avg}^{0.5} K^{1.5}$$

เมื่อ D_{50} = ขนาดคละกลางของหินเรียงหรือหินทิ้ง, ม.

V_{avg} = ความเร็วเฉลี่ยในทางน้ำหลัก, ม./วินาที

d_{avg} =ความลึกเฉลี่ยในทางน้ำหลัก, ม.

$C = C_{SF} C_{SS} C_{P/A}$

C_{SF} = แฟคเตอร์ปรับค่าเนื่องจากสภาพลำน้ำ

$= (SF/1.2)^{1.5}$

C_{SS} = แฟคเตอร์ปรับค่าเนื่องจากค่าถ่วงจำเพาะของหินเรียงหรือหินทิ้ง

$= 2.12/(S_S-1)^{1.5}$

S_S = ความถ่วงจำเพาะของหินเรียงหรือหินทิ้ง = 2.65

$C_{P/A}$ = แฟคเตอร์ปรับค่าเนื่องจากสิ่งกีดขวางทางน้ำ(Pier or Abutment)

= 3.38 กรณีมีสิ่งกีดขวางทางน้ำ

= 1.00 กรณีไม่มีสิ่งกีดขวางทางน้ำในช่วงลำน้ำที่พิจารณา

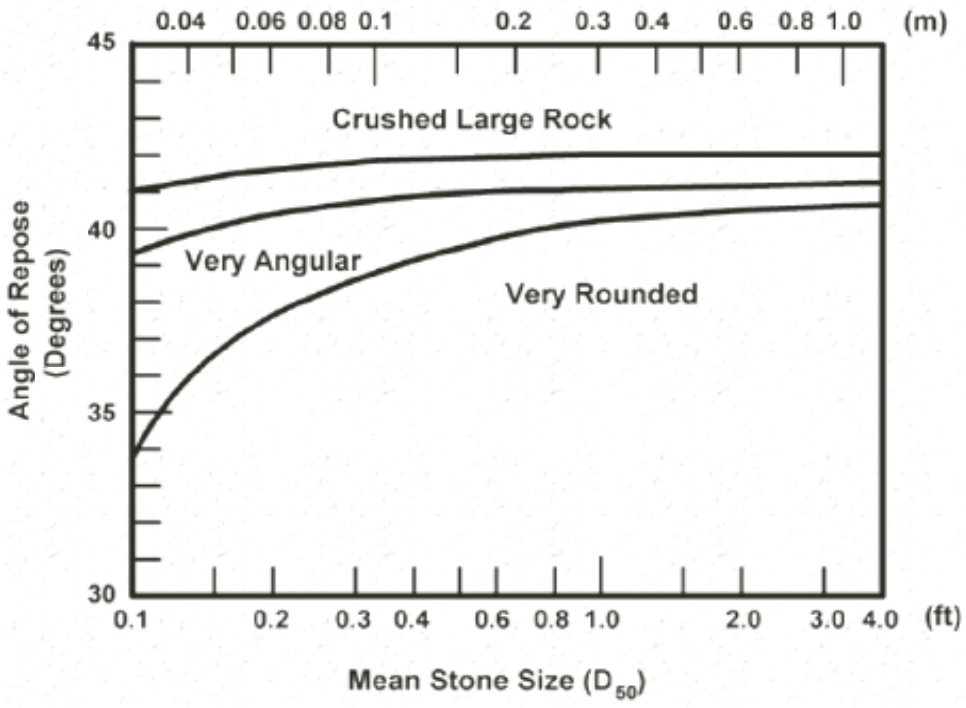
K = Bank angle correction term = $\{1-(\sin^2\theta/\sin^2\phi)\}^{1/2}$

θ = มุมความลาดชันของตลิ่งเขื่อนป้องกันกระทำกับแนวราบ

ϕ = มุมการวางตัวของหินเรียงหรือหินทิ้งกระทำกับแนวราบ, องศา

ตารางประเมินค่า (Stability Factor, SF)

การไหลของน้ำเป็นแบบราบเรียบ ลำน้ำเป็นช่วงตรงหรือโค้งเล็กน้อย(รัศมีความโค้ง/ความกว้างลำน้ำ มีค่า > 30) ไม่มีคลื่นมากระทบ อิทธิพลอื่นๆที่อาจเกี่ยวข้องมีน้อยหรือไม่มีอีก	1.0 - 1.2
การไหลมีลักษณะเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป โค้งลำน้ำปานกลาง(รัศมีความโค้ง/ความกว้างลำน้ำ มีค่าระหว่าง 10 - 30) มีคลื่น(รวมถึงจากการเดินเรือ)มากระทบปานกลาง	1.21 – 1.6
การไหลมีลักษณะเปลี่ยนแปลงออย่างรวดเร็ว มุมโค้งลำน้ำน้อย(รัศมีความโค้ง/ความกว้างลำน้ำ มีค่า < 10) มีคลื่น(รวมถึงจากการเดินเรือ)มากระทบตลอดเวลา(ความสูงคลื่นประมาณ 0.30-0.61 เมตร) การไหลมีความปั่นป่วน มีน้ำวนจากการไหลผ่านอาคารกีดขวาง มีอิทธิพลอื่นๆที่อาจเกี่ยวข้องกับความมั่นคงอีก	1.61 - 2.0



ขนาดคละหินเรียงหรือหินทิ้ง

No.	Riprap Class	Rock Size[1] (m.)	Rock Size[2] (kg.)	Percent of Riprap Smaller than
1	Facing	0.40	91	100
		0.29	34	50
		0.12	2.3	10
2	Light	0.55	227	100
		0.40	91	50
		0.12	2.3	10
3	0.23 Metric Ton	0.68	454	100
		0.55	227	50
		0.29	34	10
4	0.45 Metric Ton	0.87	907	100
		0.68	454	50
		0.55	227	5
5	0.91 Metric Ton	1.10	1814	100
		0.87	907	50
		0.68	454	5
6	1.81 Metric Ton	1.37	3629	100
		1.10	1814	50
		0.87	907	5
[1] Assuming a specific gravity of 2.65				
[2] Based on AASHTO specifications for Highway Bridges(1983)				

(2) คำนวณหาความหนาชั้นหินเรียงหรือหินทิ้ง**(Layer Thickness)** ได้จากเงื่อนไขต่อไปนี้

(2.1) มีค่าไม่น้อยกว่า D_{100} ของหินเรียงหรือหินทิ้ง

(2.2) มีค่าไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของ D_{50} ของหินเรียงหรือหินทิ้ง

(2.3) มีค่าไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

(2.4) ค่าความหนาที่ได้จากข้อ (2.1) ถึง (2.3) ควรเพิ่มอีก 50 % หากวางหินทิ้งใต้น้ำที่มีความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์อื่นๆ รวมอยู่ด้วย

(2.5) ค่าความหนาที่ได้จากข้อ (2.1) ถึง (2.3) ควรเพิ่มอีก 0.15 – 0.30 เมตร เมื่อเขื่อนป้องกันตลิ่งได้รับแรงกระทำจากคลื่นและวัสดุลอยน้ำ

(3) คำนวณหาความลึกของหินเรียงหรือหินทิ้งบริเวณ Toe ของเขื่อนป้องกันตลิ่ง

$$d_{TOE} = 1.74(D_{50})^{-0.11}$$

เมื่อ d_{TOE} = ความลึกของหินเรียงหรือหินทิ้งบริเวณ Toe, ม.

D_{50} = ขนาดคละกลางของหินเรียงหรือหินทิ้ง, ม.

(4) การกำหนดขนาดของหินคละชั้นรองพื้น(Filter Layer) นิยมใช้แผ่นใยสังเคราะห์(Geotextile)หรือใช้ความหนาชั้นหินทิ้งหรือหินเรียงเพิ่มขึ้นเพื่อแทนชั้นหินรองพื้น

3.13 การออกแบบภูมิทัศน์และสิ่งแวดล้อม

1) วัตถุประสงค์(Purpose) เพื่อวางแผนจัดการพื้นที่เป็นสถานที่นันทนาการของชุมชน โดยให้ความสำคัญในเรื่องต่างๆที่เกี่ยวข้องเช่น การใช้สอย สุนทรียภาพ การลงทุนและการดูแลรักษา เป็นต้น พร้อมทั้งให้มีความสัมพันธ์กันระหว่างพื้นที่ที่จะใช้กับสภาพพื้นที่เดิมหรือสภาพพื้นที่โดยรอบ คำนึงถึงสภาพแวดล้อมและภูมิปัญญาท้องถิ่น

2) ปัจจัยที่ต้องพิจาณา ประกอบด้วย

(1) ผู้ใช้สอยและแนวโน้มในการเข้ามาใช้พื้นที่โครงการ

- ประมาณแนวโน้มความน่าสนใจของสถานที่จากผู้เข้ามาใช้โครงการ
- ประมาณระยะเวลาในการใช้พื้นที่ของผู้เข้ามาใช้พื้นที่โครงการ

(2) ความสามารถในการรองรับกิจกรรมของพื้นที่

(3) กำลังของท้องถิ่นในการดูแลรักษา

(4) สภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศ

(5) สภาพสังคม วัฒนธรรมและพืชพันธุ์ท้องถิ่น

3) แนวคิดการวางผังโครงการ การวางแผนจัดการพื้นที่นันทนาการในชุมชนหนึ่งๆนั้น ควรต้องสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้จริงที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจะได้จากการวิเคราะห์ลักษณะของกลุ่มผู้ใช้ โดยต้องให้ความสำคัญในเรื่องต่างๆที่เกี่ยวข้องทั้ง การใช้สอย สุนทรียภาพ การลงทุนและการดูแลรักษา ลักษณะที่ดีของสวนสาธารณะจะต้องสามารถสนองตอบในเรื่องต่างๆได้อย่างเหมาะสม มีความสัมพันธ์ของแต่ละพื้นที่ควรจะมีความสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสมซึ่งกันและกันเช่น พื้นที่พักผ่อนกับพื้นที่ออกกำลังกาย ซึ่งตรงกับข้อพิจารณาด้านการใช้พื้นที่เพื่อกิจกรรมในสวนสาธารณะโดยการวางแผนแบ่งส่วนการใช้ที่ดิน(Zoning)ที่เหมาะสมกับการสัญจร(Circulation) จะป้องกันการขัดแย้งระหว่างกิจกรรม สามารถใช้ศักยภาพของที่ดินได้อย่างเต็มที่และช่วยให้ผู้ใช้เข้าสู่แต่ละส่วนของโครงการได้ดี ต้องมีปริมาณหรือความพอเพียงของส่วนใช้สอย หรืออุปกรณ์ที่พอเพียง การออกแบบต้องสามารถรองรับคนได้ทุกกลุ่ม ทั้งนี้หมายถึงทุกเพศ ทุกวัย หรือสถานภาพทั้งส่วนบุคคลและสังคม คำนึงถึงลักษณะความเป็นส่วนตัวของผู้ที่เข้ามาพักผ่อนแบบผ่อนคลาย มีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่จะใช้กับสภาพพื้นที่เดิมหรือสภาพพื้นที่โดยรอบ เป็นต้น

(1) เกณฑ์การกำหนดเขตในพื้นที่ธรรมชาติทั่วไป

- พื้นที่ธรรมชาติ เพื่อรักษาทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่ให้คงอยู่ตลอดไป เช่น พื้นที่มีลักษณะเด่นสำคัญ พื้นที่สงวนไว้ให้คงสภาพธรรมชาติ เป็นต้น
- พื้นที่สงวนหลักฐานทางประวัติศาสตร์ เช่น พื้นที่ต้องสงวนรักษาอย่างจริงจัง พื้นที่สงวนรักษาผสมการใช้ประโยชน์ เป็นต้น
- พื้นที่เพื่อการพัฒนา เช่น พื้นที่เพื่อการบริการงานของเจ้าหน้าที่ ศูนย์ติดต่อสื่อสาร เป็นต้น
- พื้นที่เพื่อการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมพิเศษ เช่น พื้นที่เพื่อการค้า พื้นที่ซึ่งประชาชนอาศัยอยู่ พื้นที่ซึ่งใช้ทำการเกษตรและปศุสัตว์ เป็นต้น

(2) เทคนิคการวางผังโครงการ

- แนวความคิดหลักของโครงการ(Main Conceptual of Project)

◊ ภาพลักษณ์ที่ต้องการในอนาคตที่จะเกิดขึ้นในภาพรวมของโครงการหรือในแต่ละส่วนพื้นที่ โดยมีเนื้อหาเป็นองค์ความรู้(theme)และมีจุดมุ่งหมาย(purpose) เช่น หน้าที่ใช้สอยและบริการ การตระหนักต่อสภาพแวดล้อม สุนทรียภาพและความงาม การจัดการและการดูแลรักษา

◊ เอกลักษณ์ทางกายภาพที่ต้องการในอนาคต เช่น การใช้สอยและกิจกรรม ด้านระบบการสัญจร ด้านสถาปัตยกรรมและสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

- แนวความคิดเฉพาะส่วนพื้นที่(Zoning Concepts) เช่น พื้นที่ด้านหน้าโครงการใช้เป็นพื้นที่สาธารณะ เพื่อการเข้าถึงและการต้อนรับหรือลานกิจกรรมที่ไม่ได้เกิดขึ้นเป็นประจำ ควรจะพัฒนาแนวความคิดทางกายภาพและภาพลักษณ์ของพื้นที่ส่วนนี้ให้ชัดเจน เป็นต้น

- การสร้างแผนภูมิแสดงหน้าที่การใช้สอยและผังแนวความคิด(Functional Diagram and Conceptual Plan) โดยการร่างรูปทรงอิสระง่ายๆ เป็นวงกลมรูปฟองน้ำ เรียกว่า “แผนภูมิรูปฟองน้ำ”(Bubble Diagram) หรือ “แผนภูมิหน้าที่ใช้สอยตามอุดมคติ” (Ideal Function Diagram) แล้วพัฒนารูปฟองน้ำนำมาจัดลงในผังพื้นที่เพื่อให้เกิดความสัมพันธ์(Site Related) เพื่อเสนอภาพรวมของการใช้สอยอย่างมีระบบในพื้นที่โครงการ(Overall Function Diagram)

◊ ความสำคัญของแผนภูมิหน้าที่ใช้สอย

- เพื่อวางเค้าโครงพื้นฐานของการใช้สอยอย่างมีแบบแผน
- กำหนดบริเวณและพื้นที่ใช้สอย โดยวงกลมรูปฟองน้ำสามารถทำให้เห็นภาพเค้าโครงของการออกแบบพื้นที่ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการและแสดงการเชื่อมโยงการคมนาคมสัญจรด้วย
- การศึกษาแนวทางเลือก โดยการวางรูปแบบวงกลมรูปฟองน้ำต่างๆกัน 2-3 ลักษณะ เพื่อเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย เพื่อเลือกแนวทางที่ดีที่สุด

◊ วิธีสร้างแผนภูมิหน้าที่ใช้สอยตามอุดมคติ

- สร้างแผนภูมิแสดงหน้าที่ใช้สอยตามอุดมคติบนกระดาษเปล่าด้วยรูปฟองน้ำอย่างง่ายๆ
- สร้างแผนภูมิแสดงหน้าที่ใช้สอยตามอุดมคติบนผังพื้นที่ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ที่เป็นจริงมากขึ้น เรียกการวางผังขั้นนี้ว่า “การวางผังแนวความคิด”(Conceptual Plan)

สิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณาร่วมในการสร้างแผนภูมิรูปฟองน้ำ ได้แก่ ขนาด(Size) การกำหนดที่ตั้ง(Site Location) แสดงสัดส่วน(Proportion) และการสัญจร(Circulation)

4) พื้นฐานของหลักการออกแบบ(Design Principal) ใช้การพิจารณาการจัดองค์ประกอบของผังร่างเค้าโครงต่างๆได้แก่

- มุมมองและสุนทรียภาพ(Aesthetic)
- การจัดองค์ประกอบและรูปทรง(Form Composition)
- วัสดุและรูปแบบของวัสดุประกอบบริเวณ การเลือกองค์ประกอบ
- การจัดองค์ประกอบของบริเวณ(Spatial Composition)

5) หลักการในการจัดองค์ประกอบ ประกอบด้วย

- ลำดับ(Order) การออกแบบที่สร้างกฎเกณฑ์ การจัดระเบียบหรือการจัดลำดับการเข้าถึง จุดเด่น จุดเน้น การนำสายตาที่มีความต่อเนื่องและเข้าใจง่าย ทั้งในแบบรูปสมมาตร(Symmetry) และอสมมาตร(Asymmetry) รวมทั้งการจัดองค์ประกอบต่างๆอย่างเป็นกลุ่มก้อน(Mass Collection) เช่น วัสดุพืชพรรณ เป็นต้น
- เอกภาพ(Unity) เป็นการกลมกลืนและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบโดยรวม แสดงออกถึงความเป็นหนึ่งเดียว เน้นความสำคัญที่ ขนาด รูปร่าง สี ผิวสัมผัส โดยเกิดจากจุดเด่น(Dominance) ขององค์ประกอบหลักหรือกลุ่มขององค์ประกอบที่น่าสนใจ เปิดรับมุมมองและนำสายตาจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง การซ้ำ(Repetition) ขององค์ประกอบที่เหมือนกันหรือคล้ายคลึงกัน นำมาจัดกลุ่มและลำดับความสำคัญ การเชื่อมโยงองค์ประกอบ(Interconnection) ที่หลากหลายให้สัมพันธ์ต่อกันทางกายภาพและมุมมองทั้งขนาด รูปร่าง สีและผิวสัมผัส เอกภาพของวัสดุพืชพรรณ(Unity of Tree) ที่จะสร้างลำดับความสนใจในแต่ละบริเวณ สร้างความร่มรื่น ความรู้สึกสบาย การเชื่อมโยงต่อองค์ประกอบและสิ่งแวดล้อมอื่น
- จังหวะ(Rhythm) เป็นการจัดองค์ประกอบที่พิจารณาถึงเรื่อง เวลา(Time) และการเคลื่อนที่ (Movement) แสดงออกในเรื่องของการจัดความถี่ ช่องว่าง แบบแผนของรูปทรง ที่ว่างและเวลาที่เปลี่ยนแปลง ประสบการณ์ที่ได้รับจากองค์ประกอบของบริเวณทำให้เกิดความประทับใจเสมือนท่วงทำนองดนตรี โดยเกิดจากการซ้ำ(Repetition) ขององค์ประกอบ ทำให้เกิดตำแหน่งที่ตั้งและช่วงความถี่ของช่องว่าง เช่น รั้ว กำแพง เป็นต้น ทางเลือกหรือการสับเปลี่ยน(Alternation) สร้างความแตกต่างในจังหวะที่สม่ำเสมอ หรือการสลับเปลี่ยนวัสดุ ในเรื่องขนาด ผิวสัมผัส รูปร่าง สี แบบต่อเนื่องเพื่อลดความน่าเบื่อจากการซ้ำ ความตรงกันข้าม(Inversion) เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของการจัดองค์ประกอบแบบตรงกันข้าม เพื่อสร้างความสนใจเฉพาะส่วน การลดหลั่น(Gradation) โดยใช้ขนาด รูปร่าง สี และผิวสัมผัส ที่สร้างการเปลี่ยนแปลงแบบมีลำดับ จากมากไปหาน้อย ขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็ก สีอ่อนไปหาสีแก่

6) องค์ประกอบของงานภูมิสถาปัตยกรรม(Landscape Elements) ประกอบด้วย

- รูปทรงของแผ่นดิน(Land Form) รูปทรงของแผ่นดินเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบพื้นที่ นำไปสู่ความหมายของการใช้พื้นที่ รูปแบบของการระบายน้ำ ความสามารถในการรับน้ำหนักของพื้นดินและรูปร่างของพื้นที่ว่าง(Space)ที่จะเกิดขึ้น การสร้างและปรับปรุงรูปทรงของแผ่นดินให้เกิดที่ว่างเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านภูมิทัศน์สามารถทำได้ 3 รูปแบบ คือ
  - ◊ การตัด(Cut) เหมาะสำหรับพื้นที่เดิมที่เป็นเนินเขา ไม่มีศักยภาพในการใช้พื้นที่หรือวางอาคาร จึงตัดเอามวลดินส่วนที่มากเกินความต้องการออกจากพื้นที่เดิมให้ราบหรืออยู่ในรูปทรงที่ใช้งานได้
  - ◊ การถม(Fill) เหมาะสำหรับพื้นที่เดิมที่เป็นที่ลุ่ม ไม่มีศักยภาพในการใช้พื้นที่หรือวางอาคาร จึงมีการนำดินจากบริเวณอื่นมาถมพื้นที่ เพื่อให้พื้นที่อยู่ในรูปทรงที่สามารถใช้งานได้
  - ◊ การตัดและถม(Cut & Fill) เหมาะสำหรับพื้นที่เดิมที่มีรูปทรงของแผ่นดินเป็นทั้งหลุม บ่อและเนินดิน จึงมีการตัดและถมในบริเวณพื้นที่ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- น้ำ(Water) เป็นของเหลวสามารถเปลี่ยนแปลงสถานะและลักษณะทางกายภาพไปตามรูปทรงของแหล่งรองรับได้ การนำน้ำมาใช้ในการออกแบบหรือองค์ประกอบของงานภูมิสถาปัตยกรรม มีหลายวิธีหลายรูปแบบ เช่น

◊ ใช้น้ำเป็นองค์ประกอบในการออกแบบทางกายภาพ (Elements of Visual Design) ประกอบด้วย เส้น(Line) รูปทรง(Form) แสงและสี(Lighting and Color) ผิวสัมผัส(Texture)

◊ ความรู้สึกกับปริมาณของน้ำ(Sense of Quantity) ปริมาณของน้ำสามารถเพิ่มความรู้สึก เช่น ความสงบ ความยิ่งใหญ่หรือความมีชีวิตชีวา เป็นต้น อีกทั้งปริมาณที่มากพอจะสามารถช่วยลดความร้อนให้กับบริเวณโดยรอบได้

◊ น้ำกับการเคลื่อนไหว(Water as Movement) น้ำนิ่งให้ความรู้สึกสงบนิ่ง คงทีและผ่อนคลาย ส่วนน้ำไหลทำให้รู้สึกมีการเคลื่อนที่(Movement) ลื่นไหล(Flow)ต่อเนื่อง ผ่อนคลายและมีชีวิตชีวา เช่น น้ำพุ น้ำตกและคลื่น เป็นต้น

◊ น้ำแสดงความหมายและเป็นสัญลักษณ์(Water as Allusion and Symbol) กระแสน้ำ แม่น้ำ ลำธาร ต่างให้ความหมายที่ต่างกัน น้ำสามารถสร้างความความสนใจให้กับพื้นที่ได้ น้ำช่วยสร้างลักษณะเฉพาะ (Characteristic) ของพื้นที่

◊ สระน้ำและบ่อน้ำ(Pools and Ponds) สระน้ำคือแหล่งน้ำรูปทรงเรขาคณิต ในขณะที่บ่อน้ำคือแหล่งน้ำที่มีรูปร่างอิสระตามธรรมชาติ มีลักษณะเป็นน้ำนิ่งหรือเคลื่อนไหวน้อย สามารถแสดงภาพสะท้อน ความลึกตื้นของน้ำสามารถแสดงภาพลวงตา และสามารถแสดงสีสันของน้ำด้วยบ่อน้ำและสระน้ำ สามารถใช้เป็นองค์ประกอบร่วมกับพืชน้ำได้

- พืชพรรณไม้(Planting) การออกแบบการใช้พืชพรรณไม้(Planting Design) ในการวางผังประกอบด้วย

◊ การใช้พืชพรรณในเชิงสถาปัตยกรรม(Architecture Uses) เช่น การสร้างพื้นที่บริเวณว่าง (Creating Space) การปิดบังและกำหนดทิศทางของมุมมอง(Screening and Directing Views)

◊ การใช้พืชพรรณในเชิงความงาม(Aesthetic Uses) เช่น เน้นจุดเด่น(Providing Accents) ทั้งขนาด(Size) และรูปทรง(Form) รวมทั้งส่งเสริมความงามให้กับอาคารหรือสถาปัตยกรรม(Complementing the House or Architecture)

◊ การใช้พืชพรรณเพื่อควบคุมสภาพภูมิอากาศ(Climate Control Uses) เช่น การให้ร่มเงา (Providing Shade) การปิดบังลม(Screening Wind) การบังคับทิศทางและช่องลม(Directing and Channeling Wind)

◊ การใช้พืชพรรณในเชิงวิศวกรรม(Engineering Uses) เช่น การควบคุมการพังทลายของดิน (Controlling Erosion) การควบคุมการสัญจร(Directing Circulation) ควบคุมแสงสะท้อน(Screening Glare)

◊ การใช้พืชพรรณเพื่อป้องกันเสียงที่ไม่ต้องการ(Voice Screening)

3.14 การออกแบบฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติ

1) วัตถุประสงค์(Purpose) เพื่อออกแบบสำหรับการอนุรักษ์ ฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติ ที่ประกอบด้วยระบบนิเวศที่ซับซ้อน(Complex Ecosystem) ทั้งขนาด รูปแบบและความลาดชัน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณน้ำและระยะเวลาของการเกิดน้ำท่าจะผันแปรไปตามลักษณะของลุ่มน้ำและฤดูกาล

2) ข้อพิจารณาในการออกแบบ(Design Consideration) ลำน้ำธรรมชาติทำหน้าที่ระบายน้ำและตะกอนจากพื้นที่ลุ่มน้ำลงไปสู่ทางออก เป็นแหล่งน้ำต้นทุนของชุมชนและสัตว์ รวมทั้งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์น้ำ ประเภทของลำน้ำธรรมชาติ ซึ่งจำแนกออกได้ 2 ประเภทดังนี้

◊ ลำน้ำที่มีความมั่นคงมีท้องน้ำและลาดตลิ่งเป็นกรวด หิน ไม่ค่อยเกิดการกัดเซาะ(Threshold Channel)

Example of a Threshold Channel with Bedrock
Location: Furnace Branch, Wayne County, Tennessee (2010)

◊ ลำน้ำที่ไม่มั่นคง เป็นทางน้ำที่มีการกัดเซาะที่ท้องน้ำและลาดตลิ่ง(Alluvial Channel)

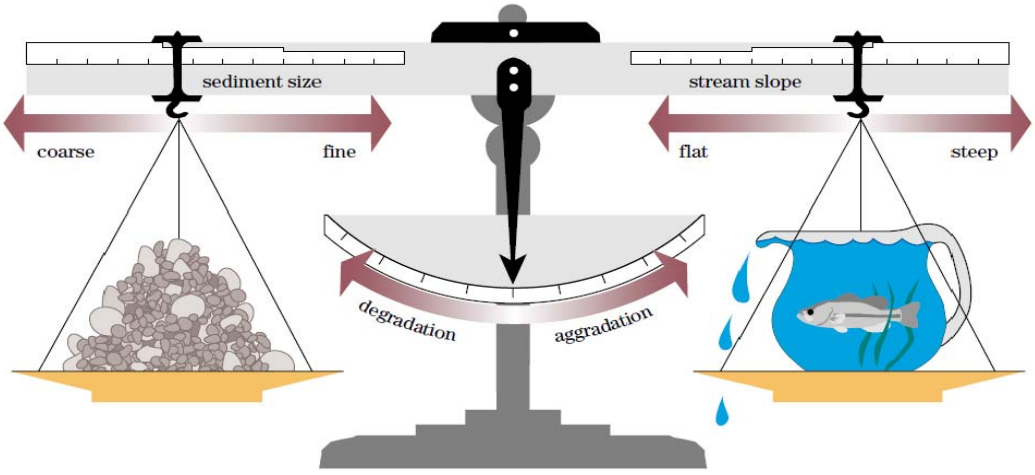
Example of an Alluvial Channel
Location: Sulphur Branch, Overton County, Tennessee (2010)

3) แนวคิดการออกแบบ การออกแบบเพื่อฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติต้องคำนึงถึงสภาพอุตุ-อุทกวิทยา ธรณีวิทยา สภาพภูมิประเทศ พืชปกคลุมและการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยเน้นใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมที่มี

รูปแบบสอดคล้องกับความยั่งยืนของระบบนิเวศ(“Soft” Engineering Treatment) มากกว่าแนวคิดการออกแบบในอดีตที่เน้นใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมที่มีรูปแบบมั่นคงแข็งแรงเพียงอย่างเดียว(“Hard” Engineering Treatment) และค่อนข้างที่จะละเลยองค์ประกอบของลำน้ำธรรมชาติ(Natural Stream Function)ที่สำคัญ เพื่อให้เกิดสมดุลทางธรรมชาติในลำน้ำอย่างมั่นคง การออกแบบฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติที่ดีจะต้องลดปริมาณตะกอนในลำน้ำ เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ ได้ลาดตลิ่งและท้องน้ำที่มีความมั่นคงแข็งแรง ทั้งต้องมีการติดตามและประเมินผลการฟื้นฟูลำน้ำอย่างต่อเนื่อง สามารถนำผลการประเมินไปประยุกต์ใช้ในการฟื้นฟูลำน้ำอื่นต่อไปได้ ตามแนวคิดของ E.W. Lane ที่เสนอแนะรูปแบบการฟื้นฟูลำน้ำ (Conceptual Model) ที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือในประเมินการเปลี่ยนแปลงของลำน้ำธรรมชาติ เช่น ปริมาณน้ำ(Flow) ความลาดชัน(Slope)และปริมาณตะกอน(Sediment Load) เป็นต้น แบบจำลองนี้รู้จักกันในชื่อของ “Lane’s Balance” ซึ่งขึ้นอยู่กับทฤษฎีโดยทั่วไปที่แรงเฉือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำในลำน้ำจะสมดุลกับความแข็งแรงของพื้นทางน้ำและปริมาณตะกอนในน้ำ ที่ทำให้ลำน้ำสมดุล เกิดการกัดเซาะหรือตกตะกอน ประกอบด้วย 4 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินคือ

- ปริมาณตะกอนในน้ำ, Q_s(Sediment Discharge)
- ขนาดตะกอนพื้นทางน้ำเฉลี่ย, D_{50}(Median Grain Size of Bed Material)
- ปริมาณน้ำ, Q_{cf}(Dominant Discharge)
- ความลาดชันของร่องน้ำลึก หรือความลาดชันของเส้นพลังงาน, S(Bottom or Energy Slope)

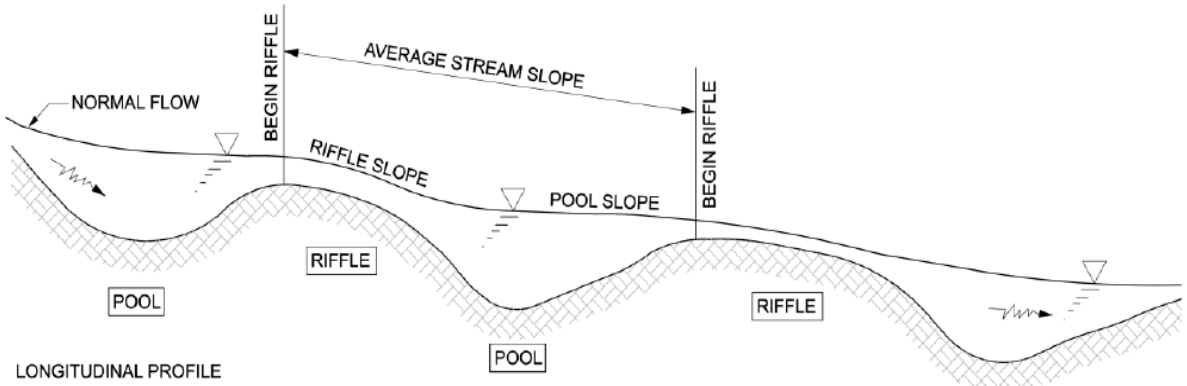
ดังสมการสมดุลคือ $Q_s \times D_{50} \approx Q_{cf} \times S$



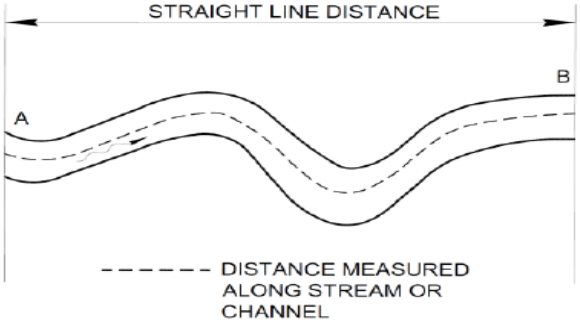
ซึ่งความสัมพันธ์ของ Lane แสดงให้เห็นว่าลำน้ำจะยังคงสภาพสมดุลอยู่ได้เมื่อตัวแปรทั้ง 4 ทำให้สมการยังคงสมดุล ถ้าตัวแปรตัวหนึ่งตัวใดเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ลำน้ำจะเกิดผลกระทบโดยเกิดการกัดเซาะหรือตกตะกอนไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าตัวแปรอื่นๆจะปรับตัวจนเข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้ง ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงความลาดชันของคูระบายน้ำของโครงการก่อสร้างถนน ทำให้พื้นที่รับน้ำของคูระบายเพิ่มขึ้น เกิดปริมาณน้ำท่าในคูระบายเพิ่มขึ้นทำให้เกิดสภาวะไม่สมดุล เกิดการกัดเซาะที่ลาดตลิ่งและท้องคูระบายน้ำ ทำให้ความลาดชันของคูระบายน้ำลดลงอย่างต่อเนื่องจนกว่าความลาดชันใหม่จะทำให้เกิดสภาวะสมดุลอีกครั้ง

4) **ข้อมูลที่ต้องการ** การฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาตินั้น ผู้ออกแบบต้องรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นดังนี้

◊ สภาพทางกายภาพของลำน้ำ เช่น ความยาว(Length) ความลาดชัน(Slope)และความคดเคี้ยว(Sinuosity) เป็นต้น

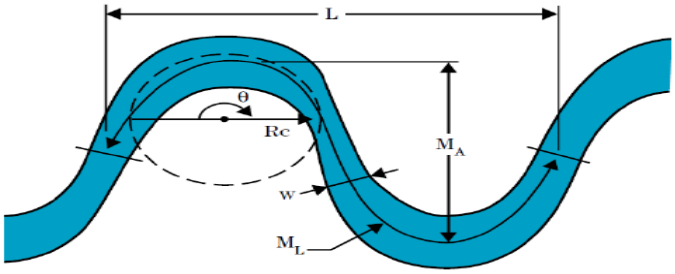


Computing Stream Slope for a Pool and Riffle Stream Structure



$$\text{SINUOSITY RATIO} = \frac{\text{DISTANCE FROM 'A' TO 'B' ALONG STREAM}}{\text{STRAIGHT LINE DISTANCE FROM 'A' TO 'B'}}$$

Sinuosity Ratio Illustrated



L Meander wavelength
M_L Meander arc length
w Average width at bankfull discharge
M_A Meander amplitude
Rc Radius of curvature
θ Arc angle

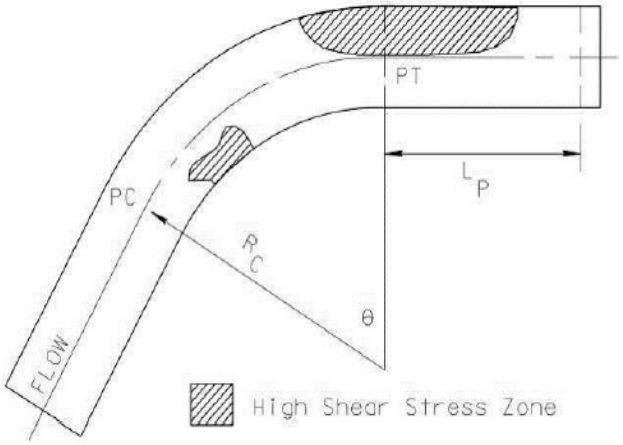
Meander Characteristics Defined
Reference: USDA, NRCS, NEH Part 654 (2007)

◊ พื้นที่หน้าตัดของลำน้ำปัจจุบัน(Existing Channel Cross Sections)
◊ รูปตัดตามยาวของลำน้ำปัจจุบัน(Existing Channel Profile)
◊ ระดับน้ำท้ายโครงการ(Tail Water Conditions)
◊ ความมั่นคงของทางน้ำ(Channel Stability)
◊ พืชปกคลุมริมตลิ่ง(Existing Riparian Vegetable)
◊ ความขรุขระของทางน้ำ(Hydraulic Roughness)

5) เกณฑ์การออกแบบ การออกแบบเพื่อฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติ เช่น การขุดลอกขยายความกว้างและความลึก การเก็บกักน้ำในลำน้ำ การก่อสร้างทางลำเลียงผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น มีเกณฑ์การออกแบบอย่างกว้างๆสรุปได้ดังนี้

● หลีกเลี่ยงหรือมีผลกระทบต่อลำน้ำน้อยที่สุด(Minimizing or Avoiding Impacts to Streams)

◊ ออกแบบลำน้ำโดยพิจารณาด้านชลศาสตร์ของการไหล ให้มีความคดเคี้ยวสอดคล้องกับสภาพปัจจุบันและปริมาณน้ำที่ออกแบบ



Shear Stresses in Channel Bend
Reference: USDOT, FHWA, HEC-15 (1988)

$$\tau_{max} = \gamma_w dS$$

$$\tau_{bend} = K_b \tau_{max}$$

$$K_b = 2.36e^{-0.082(Rc/B)}$$

เมื่อ τ_{max} = Maximum Shear Stress ของลำน้ำ, lb/ft^2

τ_{bend} = Maximum Shear Stress ของลำน้ำที่โค้ง, lb/ft^2

K_b = ค่าปรับเพิ่มของ Shear Stress ที่โค้งน้ำ

γ_w = น้ำหนักน้ำ = 62.4 lb/ft^3

d = ความลึกของน้ำ, ฟุต

B = ความกว้างของท้องน้ำ, ฟุต

S = ความลาดชันเฉลี่ยของท้องน้ำหรือ Energy Slope

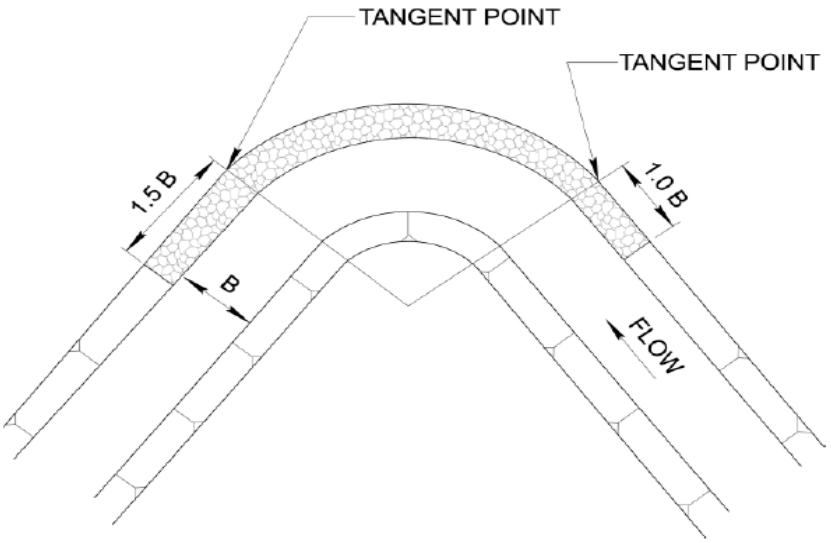
R_c = รัศมีของโค้งน้ำ, ฟุต

◊ รูปแบบของโครงสร้างที่ใช้ในการฟื้นฟูลำน้ำต้องมีความสอดคล้องกับความยั่งยืนของระบบนิเวศที่มีอยู่ในสภาพปัจจุบัน

◊ เมื่อการฟื้นฟูลำน้ำดำเนินการแล้วเสร็จ ต้องก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพ (Biologically Diverse System)

◊ เน้นใช้โครงสร้างที่อาจจะต้องใช้เวลาให้พืชค่อยๆเจริญเติบโตแล้วทำให้ลาดตลิ่งของลำน้ำมีความมั่นคง เกิดร่มเงาลดอุณหภูมิของน้ำ ใบให้พลังงาน อาหารและที่อยู่อาศัยของสัตว์ ลดความเร็วของกระแสน้ำที่ก่อให้เกิดความเสียหายในฤดูน้ำหลากและเพิ่มสารอาหารในดิน

◊ ออกแบบเสริมความแข็งแรงของลาดตลิ่ง(Design Revetments)ของลำน้ำที่ฟื้นฟู



Longitudinal Extent of Revetment at a Channel Bend
Reference: Adapted from USDOT, FHWA, HEC-11 (1989)

◊ สามารถลดปริมาณตะกอน เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำได้ลาดตลิ่งและท้องน้ำที่มีความมั่นคงแข็งแรง

◊ สามารถลดความเร็วของกระแสน้ำในฤดูกาลน้ำหลากได้

◊ สามารถเก็บกักน้ำเพื่อเป็นแหล่งน้ำต้นทุนของชุมชน สัตว์และพืชในฤดูแล้งได้

◊ การวิเคราะห์ทางด้านชลศาสตร์ของลำน้ำปัจจุบันและที่ออกแบบอย่างสมบูรณ์

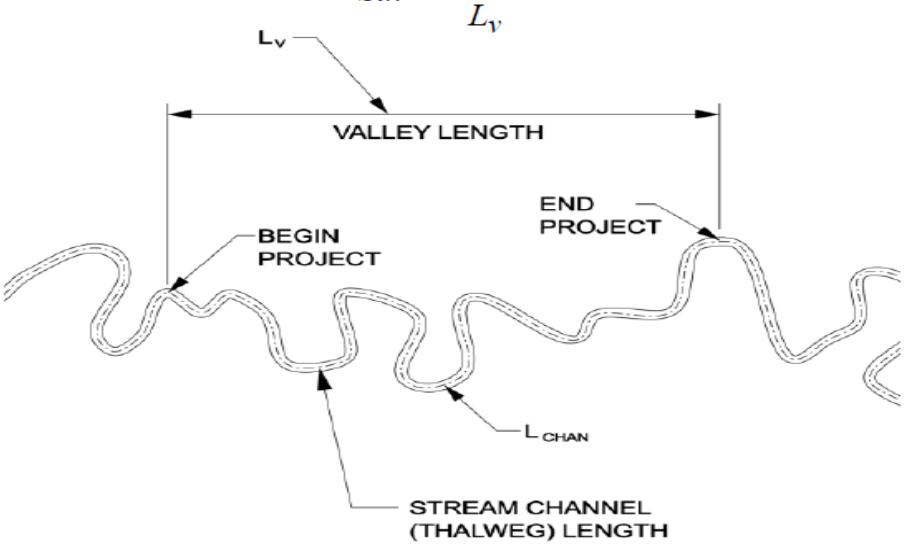
◊ ประสานการออกแบบฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติให้สอดคล้องกับระบบนิเวศและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น

● เมื่อจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนแนวลำน้ำก็ดำเนินการอย่างจำกัด(Limitations on Stream Relocations)

6) ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการออกแบบ ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

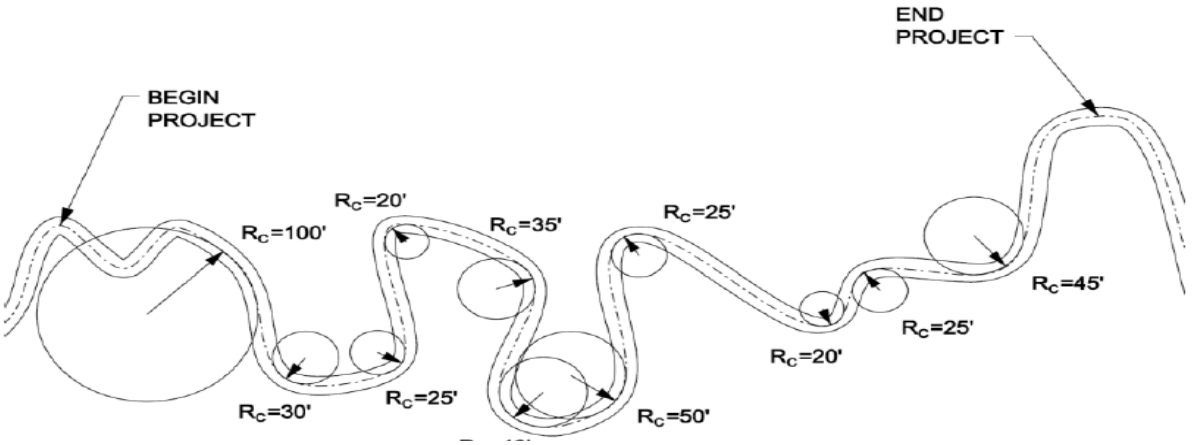
(1) คำนวณหาค่าความคดเคี้ยว(Sinuosity)

$$Sin = \frac{L_{chan}}{L_v}$$



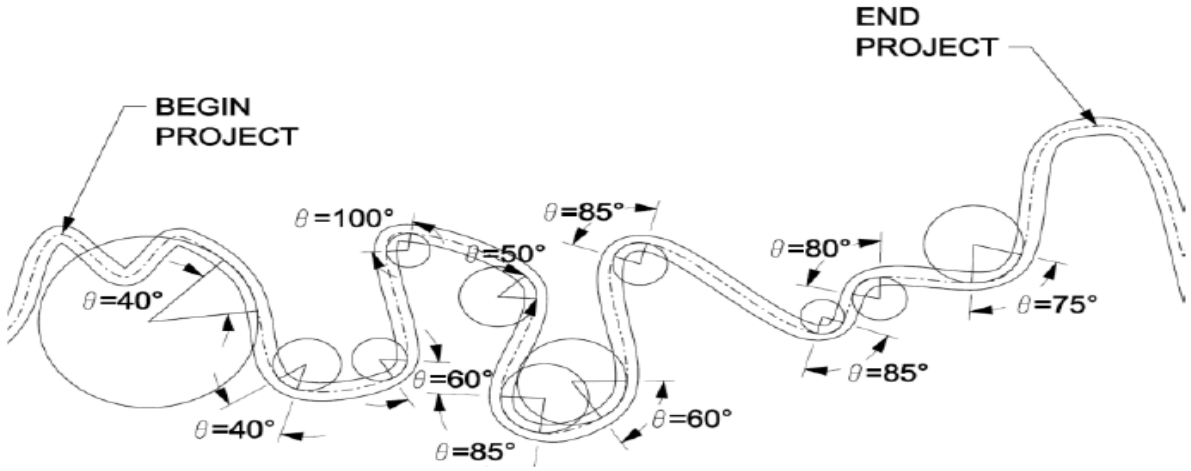
Measuring Valley and Stream Length for Sinuosity Computation

(2) วัดรัศมีของความคดเคี้ยว(Meandering reach) หาค่ารัศมีเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุด

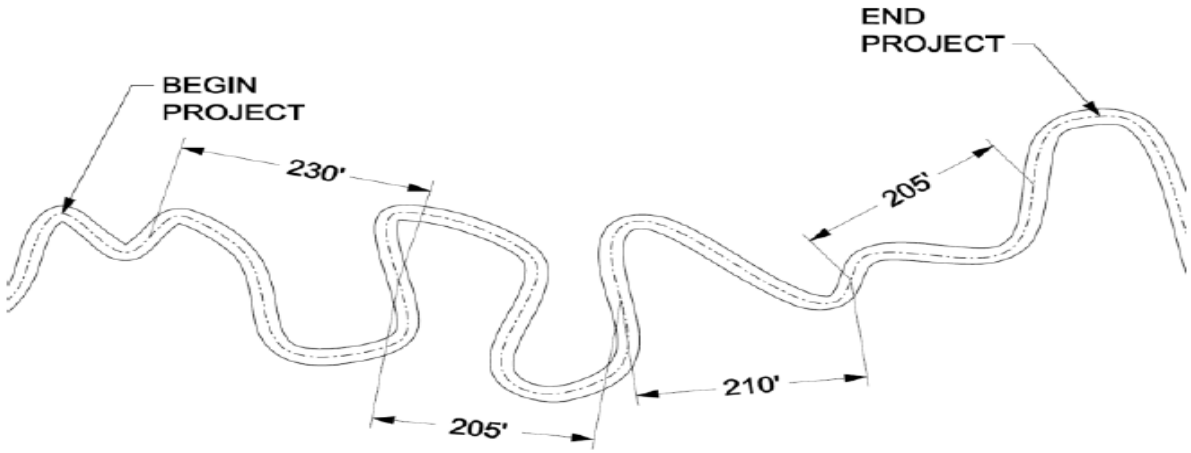


Measuring Radius of Curvature for a Meandering Reach

(3) วัดรัศมีของมุมโค้ง(Arc Angle) หาค่ารัศมีเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุด

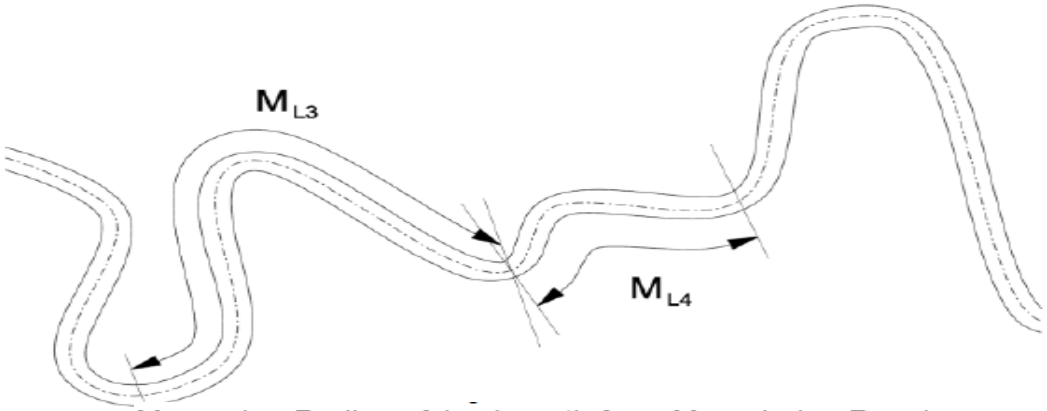


Measuring Radius of Arc Angles for a Meandering Reach



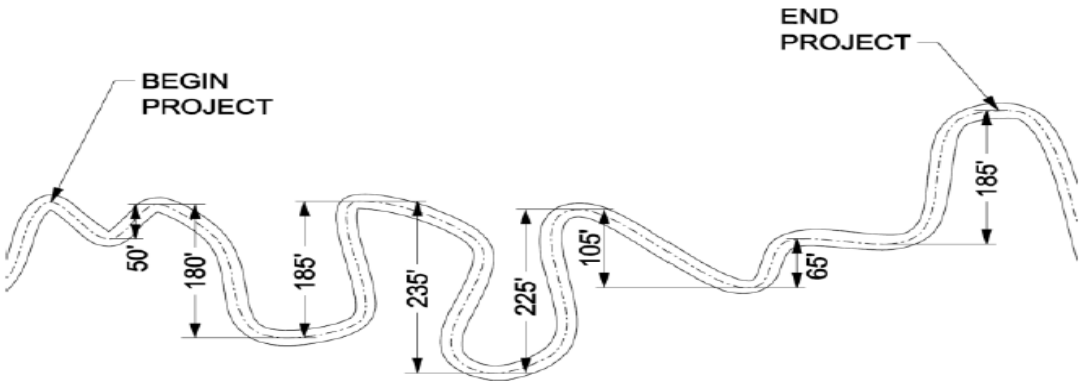
Measuring Radius of Meander Wavelength for a Meandering Reach

(4) วัดรัศมีของความยาวโค้ง(Arc Length) หาค่ารัศมีเฉลี่ย สูงสุดและต่ำสุด



Measuring Radius of Arc Length for a Meandering Reach

(5) วัดรัศมีของความกว้างของความคดเคี้ยว(Meander Amplitude) หาค่ารัศมีเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุด



Measuring Radius of Meander Amplitude for a Meandering Reach

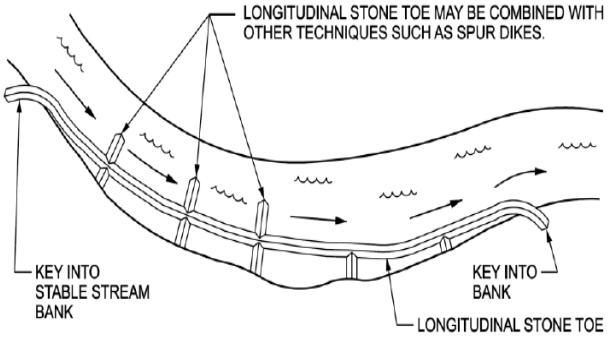
7) การออกแบบ ผู้ออกแบบต้องดำเนินการเช่นเดียวกับการออกแบบคลองดิน ให้สามารถรับปริมาณน้ำหลากที่รอบปีที่ออกแบบได้ เหมาะสมกับกายภาพของพื้นที่และขอบเขตของลำน้ำ โดยทำการสำรวจสภาพภูมิประทศ สำรวจดินทั้งท้องน้ำและบนตลิ่ง และนำผลการทดสอบดินมาวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดตลิ่งตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้อย่างรอบคอบ เมื่อพบว่าบริเวณใดไม่มีความมั่นคง ต้องเพิ่มมาตรการป้องกันการกัดเซาะและการพังทลายของลาดตลิ่งด้วยมาตรการที่ให้ค่าความปลอดภัย(Factor of Safety)ที่เหมาะสม เช่น การรักษาต้นไม้ที่ช่วยยึดตลิ่ง(ทำการตัดแต่งต้นไม้เพื่อลดน้ำหนักที่จะทำให้โค่นล้ม) ปลูกพืชพันธุ์ไม้ที่ช่วยยึดตลิ่งเพิ่มเติม ออกแบบโดยการเรียงหินใหญ่หรือใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นต้น

8) ตัวอย่างการออกแบบ การออกแบบเพื่อฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติที่เน้นใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมที่มีรูปแบบสอดคล้องกับความยั่งยืนของระบบนิเวศในปัจจุบันและก่อให้เกิดความหลากหลายทางชีวภาพนั้น โดยทั่วไปมีแบบมาตรฐานเพื่อป้องกันการกัดเซาะดินลาดตลิ่งที่ไม่สามารถต้านทานแรงเฉือนของน้ำหลากได้ ดังนี้

Vegetated Riprap along Stream Bank

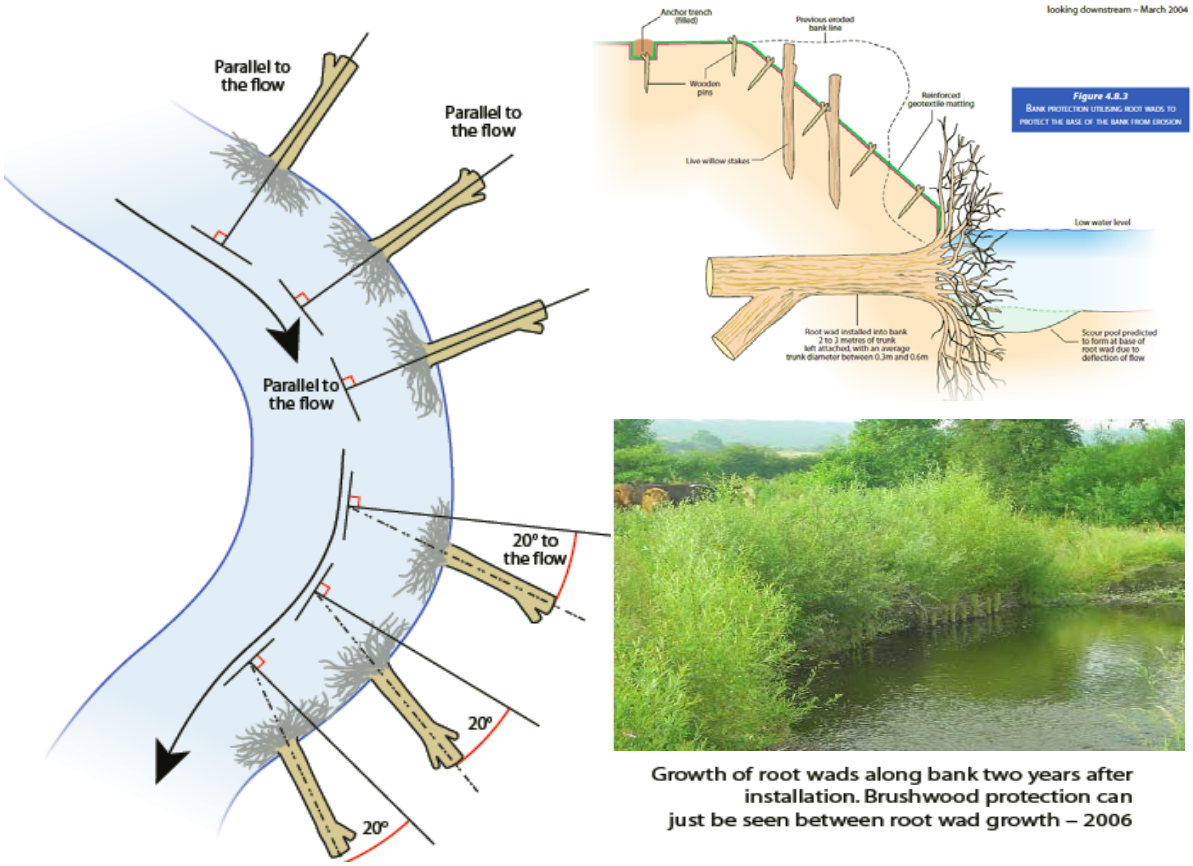
Live Willow Cuttings

Longitudinal Stone Toe



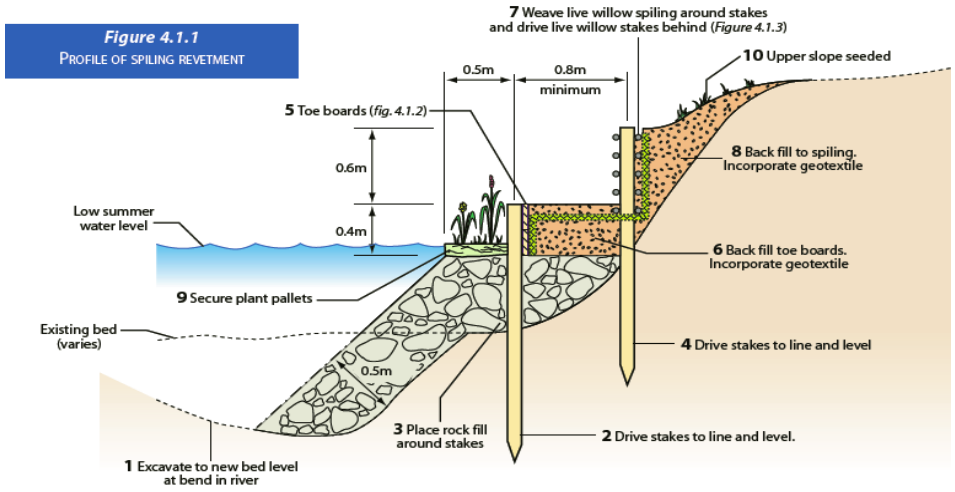
Typical Longitudinal Stone Toe Alignment

VEGETATED MECHANICALLY STABILIZED EARTH (MSE) WALLS



Growth of root wads along bank two years after installation. Brushwood protection can just be seen between root wad growth – 2006

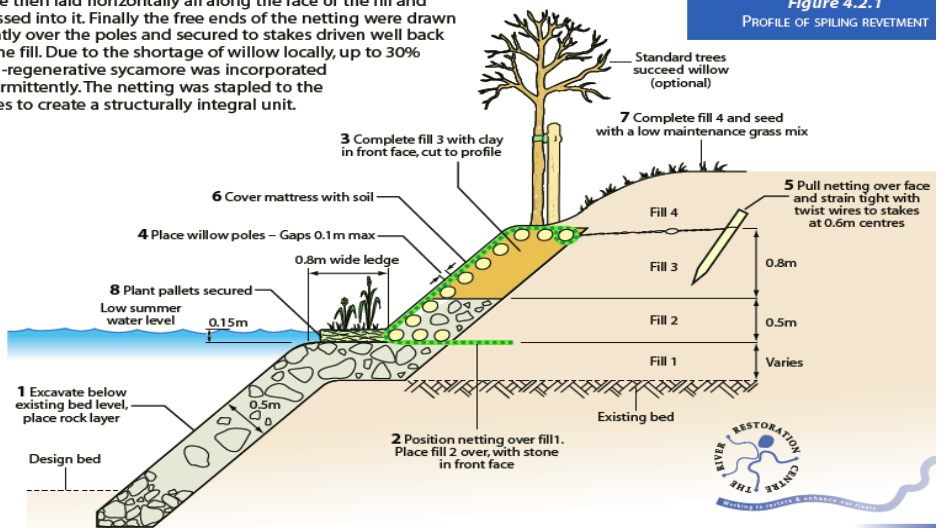
Bank protection using root wads



Willow mattress revetment

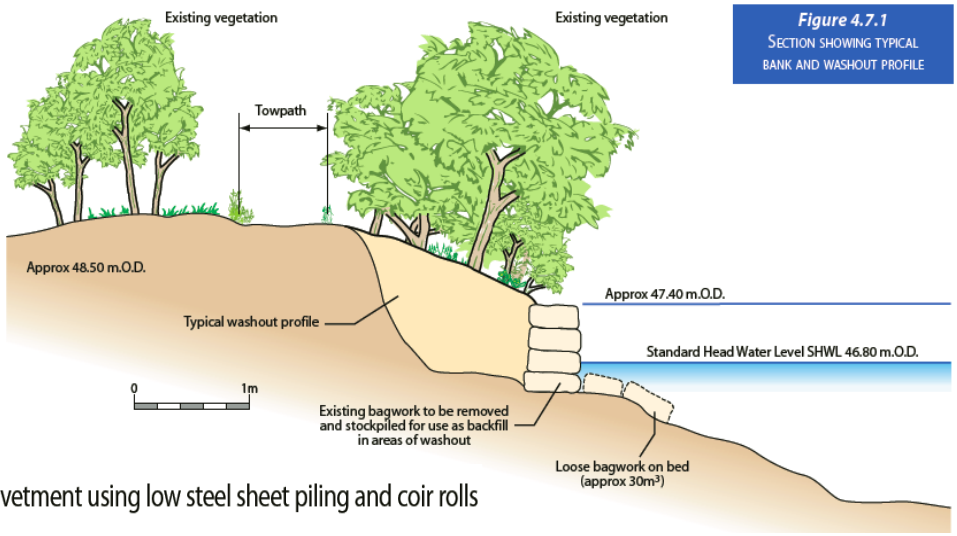
Selected live crack and white willow poles, 0.05m – 0.1m diameter, were then laid horizontally all along the face of the fill and pressed into it. Finally the free ends of the netting were drawn tightly over the poles and secured to stakes driven well back in the fill. Due to the shortage of willow locally, up to 30% non-regenerative sycamore was incorporated intermittently. The netting was stapled to the poles to create a structurally integral unit.

Figure 4.2.1
PROFILE OF SPILING REVETMENT



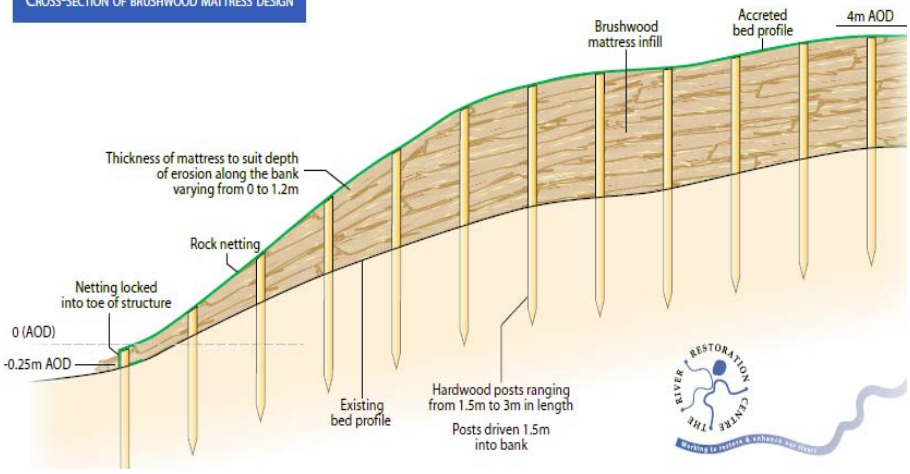
Willow mattress revetment

Figure 4.7.1
SECTION SHOWING TYPICAL BANK AND WASHOUT PROFILE



Bank revetment using low steel sheet piling and coir rolls

Figure 4.9.1
CROSS-SECTION OF BRUSHWOOD MATTRESS DESIGN



Brushwood mattress bank stabilisation on a tidal river

Once brushwood mattress installation is complete, rock netting is secured to the posts to prevent wash out – 2005

Seven years post-restoration the structure has continued to retain sediments and has been stabilised further by vegetation

9) การคำนวณหาขนาดของหินเรียง ที่บริเวณโค้งด้านนอกของลำน้ำธรรมชาติที่คดเคี้ยวมากๆ จะเกิดแรงเฉือน(Shear Stress, τ_{bend})ที่ตลิ่งจากการไหลของน้ำหลากเกินกว่าที่ดินตลิ่งเดิมจะรับได้ ทำให้เกิดการกัดเซาะ(Erosion)และค่าความมั่นคงของลาดตลิ่ง(Slope Stability)ลดลงและตลิ่งของลำน้ำจะพังทลายลงในที่สุด การออกแบบเพื่อคำนวณหาขนาดของหินเรียงและอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดตลิ่ง ทั้งเพื่อการป้องกันหรือฟื้นฟูลำน้ำธรรมชาติที่โค้งด้านนอกจึงมีความจำเป็น และสามารถดำเนินการได้ดังนี้

◊ วิเคราะห์หาความสามารถรองรับแรงเฉือนของดินตลิ่ง

Permissible Shear Stress ของดินตลิ่ง, N/m^2 (lb/ft^2) = $0.047(\gamma_{soil}-\gamma_w)D_{50}$

เมื่อ 0.047 = Shield's parameter

γ_{soil} = Specific Weight of Soil, N/m^3 (lb/ft^3)

γ_w = Specific Weight of Water, 9810 N/m^3 (62.4 lb/ft^3)

D_{50} = mean soil size, m (ft)

◊ ในกรณีที่ τ_{bend} ขณะที่เกิดน้ำหลากมีค่าสูงกว่า Permissible Shear Stress ของดินตลิ่งและผู้ออกแบบต้องการใช้หินเรียง(Riprap)ป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง สามารถคำนวณหาขนาด Mean riprap size ได้ดังนี้

D_{50} of Riprap = $FS.\tau_{bend}/\{0.047(S.G_{stone}-1)\}$

เมื่อ $S.G_{stone}$ = Specific Gravity of Stone = 2.65

FS = Factor of Safety, มีค่าเท่ากับ 1 หรือมากกว่า

◊ การวิเคราะห์หาความหนาหินเรียงและความลึกหินเรียงตีนเขื่อน คำนวณได้เช่นเดียวกับการออกแบบเขื่อนป้องกันตลิ่ง ตาม ConnDOT Drainage Manual(2002)

ความยาวหินเรียงก่อนเข้าโค้งด้านนอก = 1.0 B

ความยาวหินเรียงหลังออกจากโค้งด้านนอก = 1.5 B

◊ การวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดตลิ่ง คำนวณได้เช่นเดียวกับการออกแบบคันดิน

ส่วนที่ 4

การเขียนแบบรายละเอียด

4. การเขียนแบบรายละเอียด

การจัดทำแบบเพื่อการก่อสร้าง เป็นขั้นตอนต่อจากที่ผู้ออกแบบได้พิจารณาออกแบบรายละเอียดก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะส่งแบบร่างและรายการประกอบแบบต่างๆมาให้ผู้เขียนดำเนินการเขียนแบบให้สมบูรณ์ โดยทำการเขียนแบบลงในแบบข้อมูลงานสำรวจภูมิประเทศเดิม ซึ่งเป็นขั้นตอนการเขียนแบบงานวิศวกรรมทั่วๆไป มีลำดับขั้นตอนการเขียนแบบและแสดงแบบ โดยแยกออกตามลักษณะของโครงการดังต่อไปนี้

4.1 ประเภทโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ

1) โครงการอ่างเก็บน้ำ แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้างมีดังนี้

(1) แผนที่ทั่วไปและสารบัญ
- ◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ
- ◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ
- ◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....
- ◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน
- ◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน
- ◊ ลักษณะโครงการอ่างเก็บน้ำ
- ◊ เส้นกราฟแสดงค่าระดับ ความจุและพื้นที่ผิวน้ำของอ่างเก็บน้ำ
- ◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ
- ◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง
- ◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดหลักฐานถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน
- ◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน
- ◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)
- ◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ
- ◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ
- ◊ สัญลักษณ์
- ◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่
- ◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป

◊ ที่ตั้งและลักษณะตัวเขื่อน
◊ ที่ตั้งและลักษณะอาคารระบายน้ำล้น
◊ ที่ตั้งและลักษณะอาคารบังคับน้ำและแนวคลองส่งน้ำ
◊ สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ พื้นที่บริเวณโครงการและแนวกรรมสิทธิ์ที่ดิน

รายละเอียดในแบบประกอบด้วย

- เส้นชั้นความสูง
- เส้น Base Line และหมุดอ้างอิงต่างๆของข้อมูลสำรวจ
- เส้นแนวศูนย์กลางแกนเขื่อน อาคารระบายน้ำล้นและอาคารบังคับน้ำ
- บริเวณพื้นที่น้ำท่วม เครื่องหมายทิศและบัญชีแสดงข้อมูลโค้งต่างๆ

การจัดรูปแบบควรให้ทิศทางการไหลของน้ำจากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง การกำหนดหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารต่างๆต้องไม่ซ้ำกัน เช่น Sta. 0+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางเขื่อน Sta. 2+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น เป็นต้น

(7) แปลนและรูปตัดตามยาวแสดงชั้นดิน
◊ แปลนแสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน
◊ รูปตัดตามยาวแสดงชั้นดินต่างๆหรือชั้นหิน
◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดินของชั้นดินหลุมเจาะ

(8) แปลนและรูปตัดของเขื่อนดิน
◊ แปลนตัวเขื่อนดินแสดงเส้นชั้นความสูง ขนาดตัวเขื่อน
◊ รูปตัดตามยาวเขื่อนดิน แสดงระดับสันเขื่อน แนวเส้นเปิดหน้าดิน แนวเส้นขุดร่องแกน ระดับน้ำเก็บกัก ระดับน้ำสูงสุด ระดับดินเดิมและระดับชั้นหิน
◊ รูปตัดทั่วไปของเขื่อนดิน

(9) แปลนและรูปตัดตามยาวของอาคารระบายน้ำล้น
◊ แปลนอาคารระบายน้ำล้นแสดงเส้นชั้นความสูง ขนาดตัวอาคาร ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ
◊ รูปตัดตามยาวของอาคารระบายน้ำล้น แสดงตำแหน่งระดับต่างๆของอาคารและระดับดินเดิม
◊ รูปตัด รูปขยาย แสดงสัดส่วนรายละเอียดต่างๆของโครงสร้าง
◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับวัสดุพิเศษที่ใช้ เช่น Gabion Mattress และ Geotextile ฯลฯรวมทั้งวิธีการติดตั้ง

(10) แปลนและรูปตัดตามยาวของอาคารบังคับน้ำ
◊ แปลนอาคารบังคับน้ำ แสดงเส้นชั้นความสูง ขนาดตัวอาคาร ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ

◊ รูปตัดตามยาวของอาคารบังน้ำ แสดงตำแหน่งระดับต่างๆของอาคารและระดับดินเดิม

◊ รูปตัด รูปขยาย แสดงสัดส่วนรายละเอียดต่างๆของโครงสร้าง

◊ รูปตัด รูปขยาย ของประตูน้ำว่าเป็นชนิดฝาปิดท่อหรือชนิดทนแรงดันตามมาตรฐาน มอก. ที่เท่าใด

(11) แปลนและรูปตัดตามยาวของคลองส่งน้ำ

ในกรณีที่มีคลองส่งน้ำด้วย ให้ดูรายละเอียดการเขียนแบบโครงการคลองส่งน้ำ

(12) แปลนและรูปตัดถนนเข้าโครงการ

ในกรณีที่มีถนนเข้าโครงการ จะต้องมีรายละเอียดของแบบแปลนดังต่อไปนี้

◊ แบบแปลนแสดงตำแหน่งหลุมเจาะ ประกอบด้วย

- แปลนและรูปตัด
- ผลการเจาะสำรวจ

◊ แปลนและรูปตัดตามขวาง

◊ รูปตัดตามขวางแสดงงานดิน

◊ รูปตัดทั่วไปถนนเข้าโครงการ

(13) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็นมาตราส่วนเดียวกัน เว้นแต่ว่ารูปไม่เหมาะสมกับหน้ากระดาษ

◊ รูปตัดแสดงงานดินของเขื่อนดิน

◊ รูปตัดแสดงงานดินของอาคารระบายน้ำล้น

◊ รูปตัดแสดงงานดินของอาคารบังคับน้ำ

◊ รูปตัดแสดงงานดินของคลองส่งน้ำ

◊ รูปตัดแสดงงานดินของถนนเข้าโครงการ

(14) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับเขื่อนดิน

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับอาคารระบายน้ำล้น

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับอาคารบังคับน้ำ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับคลองส่งน้ำ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับถนนเข้าโครงการ ประกอบด้วย

- การวางท่อ คสล.และป้องกันการกัดเซาะปากท่อ
- เครื่องหมายควบคุมการจราจร เช่น ป้ายบังคับและป้ายเตือน รูปร่างลักษณะป้ายบังคับและป้ายเตือนพร้อมการติดตั้ง การแสดงวิธีการปักป้ายโครงการและป้ายบอกระยะทาง การตีเส้นจราจร หลักกิโลเมตร หลักทางโค้งและเขตทาง

2) โครงการฝายน้ำล้น/ประตูระบายน้ำ แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้างมีดังนี้

(1) แผนที่ทั่วไปและสารบัญ
- ◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ
- ◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ
- ◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....
- ◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน
- ◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน
- ◊ ตารางแสดงแหล่งวัสดุและผลการทดสอบ
- ◊ ลักษณะโครงการฝายน้ำล้น
- ◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ
- ◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง
- ◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดหลักฐานถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน
- ◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน
- ◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)
- ◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ
- ◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ
- ◊ สัญลักษณ์
- ◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่
- ◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป
- ◊ ที่ตั้งและลักษณะตัวฝาย
- ◊ ที่ตั้งและลักษณะอาคารบังคับน้ำและแนวคลองส่งน้ำ
- ◊ สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ พื้นที่บริเวณโครงการและแนวกรรมสิทธิ์ที่ดิน

  รายละเอียดในแบบประกอบด้วย
  - เส้นชั้นความสูง
  - เส้น Base Line และหมุดอ้างอิงต่างๆของข้อมูลสำรวจ

- เส้นแนวศูนย์กลางแกนฝายน้ำล้นและอาคารบังคับน้ำ
- บริเวณพื้นที่น้ำท่วม เครื่องหมายทิศและบัญชีแสดงข้อมูลโค้งต่างๆ

การจัดรูปแบบควรให้ทิศทางการไหลของน้ำจากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง การกำหนดหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารต่างๆต้องไม่ซ้ำกัน เช่น Sta. 0+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางฝายน้ำล้น Sta. 2+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารบังคับน้ำ เป็นต้น

(7) แปลนและรูปตัดตามยาวแสดงชั้นดิน
   ◊ แปลนแสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน
   ◊ รูปตัดตามยาวแสดงชั้นดินต่างๆหรือชั้นหิน

(8) แปลนและรูปตัดของฝายน้ำล้น
   ◊ แปลนตัวฝายน้ำล้นแสดงเส้นชั้นความสูง ขนาดตัวฝายน้ำล้น
   ◊ รูปตัดตามยาวฝายน้ำล้น แสดงระดับสันฝายน้ำล้น ระดับน้ำเก็บกัก ระดับน้ำสูงสุด ระดับดินเดิมและระดับชั้นหิน
   ◊ รูปตัด รูปขยาย แสดงขนาด สัดส่วนและรายละเอียด

(9) แปลนและรูปตัดตามยาวของอาคารบังคับน้ำ
   ◊ แปลนอาคารบังคับน้ำ แสดงเส้นชั้นความสูง ขนาดตัวอาคาร ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ
   ◊ รูปตัดตามยาวของอาคารบังคับน้ำ แสดงตำแหน่งระดับต่างๆของอาคารและระดับดินเดิม
   ◊ รูปตัด รูปขยาย แสดงสัดส่วนรายละเอียดต่างๆของโครงสร้าง
   ◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับวัสดุพิเศษที่ใช้ เช่น Gabion Mattress และ Geotextile ฯลฯ รวมทั้งวิธีการติดตั้ง

(10) แปลนและรูปตัดตามยาวของคลองส่งน้ำ

ในกรณีที่มีคลองส่งน้ำด้วย ให้ดูรายละเอียดการเขียนแบบโครงการคลองส่งน้ำ

(11) แปลนและรูปตัดถนนเข้าโครงการ

ในกรณีที่มีถนนเข้าโครงการ จะต้องมีรายละเอียดของแบบแปลนดังต่อไปนี้

   ◊ แบบแปลนแสดงเส้นชั้นความสูง สิ่งก่อสร้างบริเวณแนวทาง แนวร่องน้ำ Data Curve ฯลฯ
   ◊ รูปตัดตามยาวแสดงดินเดิมและระดับถนน ตำแหน่งวางท่อระบายน้ำ โดยจัดทำเป็นตารางให้ชัดเจน

(12) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็นมาตราส่วนเดียวกัน เว้นแต่ว่ารูปไม่เหมาะสมกับหน้ากระดาษ

   ◊ รูปตัดแสดงงานดินของฝายน้ำล้น
   ◊ รูปตัดแสดงงานดินของอาคารบังคับน้ำ

◊ รูปตัดแสดงงานดินของคลองส่งน้ำ

◊ รูปตัดแสดงงานดินของถนนเข้าโครงการ

(13) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับฝายน้ำล้น

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับอาคารบังคับน้ำ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับคลองส่งน้ำ

3) โครงการระบบกระจายน้ำ(คลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ) แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้างมีดังนี้

(1) แผนที่ทั่วไปและสารบัญ

◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ

◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....

◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน

◊ แบบและขนาดคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำที่ใช้

◊ ลักษณะโครงการคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ

◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดหลักฐานถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ

◊ สัญลักษณ์

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป

◊ แปลนทั่วไปทั้งหมดของแนวคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ แสดงให้เห็นแนวคลองหรือท่อพร้อมกับตำแหน่งอาคารที่ กม.นั้นๆ

◊ ตารางแสดงตำแหน่งและมิติของอาคารประกอบคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

(7) รูปตัดตามยาวแนวท่อส่งน้ำแสดง Hydraulic Grade Line, H.G.L(กรณีระบบส่งน้ำด้วยท่อ)

◊ รูปตัดตามยาวทั้งหมดของแนวท่อส่งน้ำ แสดงให้เห็นระดับของ H.G.L ระดับดินเดิมและระดับก่อสร้าง

◊ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจาก กม.....ถึง กม.....เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อ

(8) แปลนและรูปตัดตามยาวคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

◊ แปลนแนวคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ แสดงเส้นชั้นความสูง สิ่งก่อสร้าง ร่องน้ำ ทางเดิน ถนนและพื้นที่เพาะปลูกที่แนวคลองตัดผ่าน นอกจากนี้ยังแสดงตำแหน่ง ขนาดและชนิดของอาคารประกอบคลองส่งน้ำ

◊ รูปตัดตามยาวแสดงระดับดินเดิม ระดับท้องคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ ตำแหน่ง ขนาดและชนิด ของอาคารประกอบคลองส่งน้ำ การจัดรูปแบบแปลนแนวคลองควรใช้มาตราส่วน 1:1,000 และรูปตัดตามยาวใช้มาตรส่วนแกนตั้ง 1:100 แกนนอน 1:1,000

- ที่แนวตำแหน่งของอาคารต่างๆให้ระบุรายละเอียดดังนี้(ควรเขียนในแนวดิ่งและให้อยู่เหนือเส้นระดับหลังคันขึ้นไป)
  - **o** ตำแหน่งของอาคาร
  - **o** ชื่อประเภทของอาคาร
  - **o** Head Losses(ถ้ามี)
  - **o** ปริมาณน้ำ(ถ้ามี)
  - **o** หมายเลขแบบของอาคาร
- บนเส้นแสดงระดับท้องคลองหรือท่อส่งน้ำ ระดับส่งน้ำสูงสุดและระดับหลังคัน ให้ใช้เส้นลูกศรชี้บอกค่าระดับที่จุดดังต่อไปนี้
  - **o** ที่จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของคลอง
  - **o** ที่จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของแบบแผ่นต่อ
  - **o** ที่จุดตำแหน่งของอาคารในคลอง ซึ่งระดับจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ตาม
  - **o** ที่จุดซึ่งค่าระยะ กม. ของคลองเปลี่ยนแปลงมี Equation
  - **o** ที่จุดคลองแยกต่างๆ

(9) แปลนรูปตัดและรายละเอียดต่างๆของอาคารประกอบ

◊ แปลนแสดงขนาดสัดส่วน ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ

◊ รูปตัดและรูปขยาย แสดงสัดส่วนรายละเอียดต่างๆของโครงสร้าง

(10) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็นมาตราส่วนเดียวกัน

◊ รูปตัดแสดงงานดินของคลองหรือท่อส่งน้ำ

(11) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

4) โครงการระบบเครือข่ายน้ำ/ผันน้ำ แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้างมีดังนี้

(1) แผนที่ทั่วไปและสารบัญ

◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ

◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....

◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน

◊ แบบและขนาดคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำที่ใช้

◊ ลักษณะโครงการคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ

◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดหลักฐานถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ

◊ สัญลักษณ์

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป

◊ แปลนทั่วไปทั้งหมดของแนวคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ แสดงให้เห็นแนวคลองหรือท่อพร้อม

กับตำแหน่งอาคารที่ กม.นั้นๆ

◊ ตารางแสดงตำแหน่งและมิติของอาคารประกอบคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

(7) รูปตัดตามยาวแนวท่อส่งน้ำแสดง Hydraulic Grade Line, H.G.L(กรณีระบบส่งน้ำด้วยท่อ)

◊ รูปตัดตามยาวทั้งหมดของแนวท่อส่งน้ำ แสดงให้เห็นระดับของ H.G.L ระดับดินเดิมและระดับก่อสร้าง

◊ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อจาก กม.....ถึง กม.....เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อ

(8) แปลนและรูปตัดตามยาวคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

◊ แปลนแนวคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ แสดงเส้นชั้นความสูง สิ่งก่อสร้าง ร่องน้ำ ทางเดิน ถนน และพื้นที่เพาะปลูกที่แนวคลองตัดผ่าน นอกจากนี้ยังแสดงตำแหน่ง ขนาดและชนิดของอาคารประกอบคลองส่งน้ำ

◊ รูปตัดตามยาวแสดงระดับดินเดิม ระดับท้องคลองส่งน้ำ ตำแหน่ง ขนาดและชนิดของอาคารประกอบคลองส่งน้ำ การจัดรูปแบบแปลนแนวคลองควรใช้มาตราส่วน 1:1,000 และรูปตัดตามยาวใช้มาตรส่วนแกนตั้ง 1:100 แกนนอน 1:1,000

- ที่แนวตำแหน่งของอาคารต่างๆให้ระบุรายละเอียดดังนี้(ควรเขียนในแนวดิ่งและให้อยู่เหนือเส้นระดับหลังคันขึ้นไป)
  - **o** ตำแหน่งของอาคาร
  - **o** ชื่อประเภทของอาคาร
  - **o** Head Losses(ถ้ามี)
  - **o** ปริมาณน้ำ(ถ้ามี)
  - **o** หมายเลขแบบของอาคาร
- บนเส้นแสดงระดับท้องคลองหรือท่อส่งน้ำ ระดับส่งน้ำสูงสุดและระดับหลังคัน ให้ใช้เส้นลูกศรชี้บอกค่าระดับที่จุดดังต่อไปนี้
  - **o** ที่จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของคลอง
  - **o** ที่จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของแบบแผ่นต่อ
  - **o** ที่จุดตำแหน่งของอาคารในคลอง ซึ่งระดับจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ตาม
  - **o** ที่จุดซึ่งค่าระยะ กม. ของคลองเปลี่ยนแปลงมี Equation
  - **o** ที่จุดคลองแยกต่างๆ

(9) แปลนรูปตัดและรายละเอียดต่างๆของอาคารประกอบ

◊ แปลนแสดงขนาดสัดส่วน ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ

◊ รูปตัดและรูปขยาย แสดงสัดส่วนรายละเอียดต่างๆของโครงสร้าง

(10) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็น

มาตราส่วนเดียวกัน

◊ รูปตัดแสดงงานดินของคลองหรือท่อส่งน้ำ

(11) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำ

4.2 ประเภทโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

1) โครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ(หนอง บึง) แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้างมีดังนี้

(1) แผนที่ทั่วไปและสารบัญ

◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ

◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....

◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน

◊ ลักษณะโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ

◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ

◊ สัญลักษณ์

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป

◊ ที่ตั้งและลักษณะองค์ประกอบ

◊ ที่ตั้งและลักษณะทางรับน้ำเข้าหนอง/บึง ทางระบายน้ำล้นและบันไดลงหนอง/บึงและอาคารประกอบอื่นๆ

◊ สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ พื้นที่โครงการและแนวกรรมสิทธิ์ที่ดินบริเวณโครงการ

◊ เส้นชั้นความสูง

◊ เส้น Base Line และหมุดอ้างอิงต่างๆของข้อมูลสำรวจ

◊ เส้นแนวศูนย์กลางของหนอง/บึง แนวอาคารรับน้ำเข้า แนวอาคารระบายน้ำล้น

◊ เครื่องหมายทิศ

การจัดรูปแบบควรให้ทิศทางการไหลของน้ำจากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง การกำหนดหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารต่างๆต้องไม่ซ้ำกัน เช่น Sta. 0+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางหนอง/บึง Sta. 2+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น เป็นต้น

(7) แปลนและรูปตัดตามยาวแสดงชั้นดิน

◊ แปลนแสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ รูปตัดตามยาวแสดงชั้นดินต่างๆ

(8) แปลนและรูปตัดหนอง/บึงและอาคารต่างๆ

◊ แปลนและรูปตัดทั่วไปของหนองบึง แสดงระดับดินเดิม ระดับขุดลอก ระดับน้ำเก็บกัก ระดับน้ำสูงสุดและระดับคันดิน

◊ รูปตัดตามยาวของอาคารรับน้ำเข้า แสดงขนาด สัดส่วนและระดับต่างๆ

◊ รูปตัดตามแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น แสดงขนาด สัดส่วนและระดับต่างๆ

◊ ตารางแสดงมิติต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีใช้แบบมาตรฐาน)

(9) แปลน รูปตัดและรายละเอียดต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีไม่ใช้แบบมาตรฐาน)

◊ แปลนและรูปตัด แสดงขนาด สัดส่วน ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ

(10) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็นมาตราส่วนเดียวกัน

(11) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับหนอง/บึง

2) โครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูทางน้ำ(แม่น้ำ ลำคลอง) แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้างมีดังนี้

(1) แผนที่ทั่วไปและสารบัญ

◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ

◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....

◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน

◊ ลักษณะโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ(แม่น้ำ ลำคลอง)

◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ

◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดหลักฐานถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ

◊ สัญลักษณ์

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป

◊ ที่ตั้งและลักษณะองค์ประกอบ

◊ ที่ตั้งและลักษณะทางรับน้ำเข้าและบันได

◊ สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ พื้นที่โครงการและแนวกรรมสิทธิ์ที่ดินบริเวณโครงการ

◊ เส้นชั้นความสูง

◊ เส้น Base Line และหมุดอ้างอิงต่างๆของข้อมูลสำรวจ

◊ เส้นแนวศูนย์กลางของแม่น้ำ/ลำคลอง แนวอาคารรับน้ำเข้า อาคารระบายน้ำล้น ประตูระบายน้ำ

◊ เครื่องหมายทิศ

การจัดรูปแบบควรให้ทิศทางการไหลของน้ำจากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง การกำหนดหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารต่างๆต้องไม่ซ้ำกัน เช่น Sta. 0+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางแม่น้ำ/ลำคลอง Sta. 2+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น เป็นต้น

(7) แปลนและรูปตัดตามยาวแสดงชั้นดิน

◊ แปลนแสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ รูปตัดตามยาวแสดงชั้นดินต่างๆ

(8) รูปตัดแม่น้ำ/ลำคลองและอาคารต่างๆ

◊ แปลนและรูปตัดทั่วไปของแม่น้ำ/ลำคลอง แสดงระดับดินเดิม ระดับขุดลอก ระดับน้ำเก็บกัก
ระดับน้ำสูงสุดและระดับคันดิน

◊ รูปตัดตามยาวของอาคารรับน้ำเข้า แสดงขนาด สัดส่วนและระดับต่างๆ

◊ รูปตัดตามแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น ประตูระบายน้ำ แสดงขนาด สัดส่วน และระดับ ต่างๆ

◊ ตารางแสดงมิติต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีใช้แบบมาตรฐาน)

(9) แปลน รูปตัดและรายละเอียดต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีไม่ใช้แบบมาตรฐาน)

◊ แปลนและรูปตัด แสดงขนาด สัดส่วน ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ

(10) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็นมาตราส่วนเดียวกัน

(11) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับแม่น้ำ/ลำคลอง

3) โครงการปรับปรุงฟื้นฟูแหล่งน้ำ แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้าง. มีดังนี้

(1) แผนที่ทั่วไปและสารบัญ

◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ

◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....

◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน

◊ ลักษณะโครงการปรับปรุงฟื้นฟูแหล่งน้ำ

◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ

◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดหลักฐานถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน
◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)
◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ
◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ
◊ สัญลักษณ์
◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่
◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป
◊ ที่ตั้งและลักษณะองค์ประกอบ
◊ ที่ตั้งและลักษณะทางรับน้ำเข้าและบันได
◊ สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ พื้นที่โครงการและแนวกรรมสิทธิ์ที่ดินบริเวณโครงการ
◊ เส้นชั้นความสูง
◊ เส้น Base Line และหมุดอ้างอิงต่างๆของข้อมูลสำรวจ
◊ เส้นแนวศูนย์กลางของแหล่งน้ำ แนวอาคารรับน้ำเข้า
◊ เครื่องหมายทิศ

การจัดรูปแบบควรให้ทิศทางการไหลของน้ำจากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง การกำหนดหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารต่างๆต้องไม่ซ้ำกัน เช่น Sta. 0+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางแหล่งน้ำ Sta. 2+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น เป็นต้น

(7) แปลนและรูปตัดตามยาวแสดงชั้นดิน
◊ แปลนแสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน
◊ รูปตัดตามยาวแสดงชั้นดินต่างๆ

(8) แปลนและรูปตัดแหล่งน้ำและอาคารต่างๆ
◊ แปลนและรูปตัดทั่วไปของแหล่งน้ำ แสดงระดับดินเดิม ระดับขุดลอก ระดับน้ำเก็บกัก ระดับน้ำสูงสุดและระดับคันดิน
◊ รูปตัดตามยาวของอาคารรับน้ำเข้า แสดงขนาด สัดส่วนและระดับต่างๆ
◊ รูปตัดตามแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น แสดงขนาด สัดส่วนและระดับต่างๆ
◊ ตารางแสดงมิติต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีใช้แบบมาตรฐาน)

(9) แปลน รูปตัดและรายละเอียดต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีไม่ใช้แบบมาตรฐาน)
◊ แปลนและรูปตัด แสดงขนาด สัดส่วน ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ

(10) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็น

มาตราส่วนเดียวกัน

(11) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับปรับปรุงฟื้นฟูแหล่งน้ำ

4.3 ประเภทโครงการซ่อม ปรับปรุงแหล่งน้ำ

โครงการซ่อม ปรับปรุงแหล่งน้ำ แบบแปลนที่จะต้องเขียนแบบเพื่อใช้ประกอบการก่อสร้างมีดังนี้

(1) ผนที่ทั่วไปและสารบัญ

◊ ชื่อโครงการ รหัสโครงการและสถานที่ตั้งโครงการ

◊ แผนที่แสดงอาณาเขตติดต่อ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งโครงการ โดยแสดงในแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวางที่..... และตำแหน่งที่ตั้งโครงการพิกัดที่.....

◊ สารบัญ บัญชีหมายเลขแบบ

(2) ลักษณะโครงการและข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

◊ อักษรย่อและสัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในแบบแปลน

◊ ลักษณะโครงการซ่อม ปรับปรุงแหล่งน้ำ

◊ ข้อกำหนดเกี่ยวกับแบบแปลน

(3) ผลการสำรวจภูมิประเทศ

◊ แสดงรายละเอียดของหมุดอ้างอิง

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของหมุดหลักฐานถาวรโครงการ

(4) ผลการเจาะสำรวจดินและการทดสอบคุณสมบัติดิน

◊ แผนที่แสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ กราฟแสดงผลการสำรวจชั้นดิน(Boring Log)

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน

(5) แผนที่แสดงแหล่งวัสดุ

◊ แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งวัสดุ

◊ สัญลักษณ์

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติหินโรงโม่

◊ ตารางแสดงผลการทดสอบวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน ทรายและลูกรัง ฯลฯ

(6) แผนผังทั่วไป

◊ ที่ตั้งและลักษณะองค์ประกอบ

◊ ที่ตั้งและลักษณะทางรับน้ำเข้าแหล่งน้ำ ทางระบายน้ำล้นและบันไดลงแหล่งน้ำ

◊ สิ่งปลูกสร้างอื่นๆ พื้นที่โครงการและแนวกรรมสิทธิ์ที่ดินบริเวณโครงการ

◊ เส้นชั้นความสูง

◊ เส้น Base Line และหมุดอ้างอิงต่างๆของข้อมูลสำรวจ

◊ เส้นแนวศูนย์กลางของแหล่งน้ำ แนวอาคารรับน้ำเข้า แนวอาคารระบายน้ำล้น

◊ เครื่องหมายทิศ

การจัดรูปแบบควรให้ทิศทางการไหลของน้ำจากซ้ายไปขวาหรือจากบนลงล่าง การกำหนดหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารต่างๆต้องไม่ซ้ำกัน เช่น Sta. 0+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางแหล่งน้ำ Sta. 2+000 เป็นหมายเลขแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น เป็นต้น

(7) แปลนและรูปตัดตามยาวแสดงชั้นดิน

◊ แปลนแสดงตำแหน่งและหมายเลขหลุมเจาะสำรวจดิน

◊ รูปตัดตามยาวแสดงชั้นดินต่างๆ

(8) แปลนและรูปตัดแหล่งน้ำและอาคารต่างๆ

◊ แปลนและรูปตัดทั่วไปของแหล่งน้ำ แสดงระดับดินเดิม ระดับขุดลอก ระดับน้ำเก็บกัก ระดับน้ำสูงสุดและระดับคันดิน

◊ รูปตัดตามยาวของอาคารรับน้ำเข้า แสดงขนาด สัดส่วนและระดับต่างๆ

◊ รูปตัดตามแนวศูนย์กลางอาคารระบายน้ำล้น แสดงขนาด สัดส่วนและระดับต่างๆ

◊ ตารางแสดงมิติต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีใช้แบบมาตรฐาน)

(9) แปลน รูปตัดและรายละเอียดต่างๆของอาคารประกอบ(กรณีไม่ใช้แบบมาตรฐาน)

◊ แปลนและรูปตัด แสดงขนาด สัดส่วน ระดับความสูงและรายละเอียดต่างๆ

(10) รูปตัดแสดงงานดิน

เพื่อให้คิดปริมาณงานดินได้ถูกต้อง ควรเขียนแบบในมาตราส่วนแกนตั้งและแกนนอนเป็นมาตราส่วนเดียวกัน

(11) แบบมาตรฐานที่ใช้ในโครงการ

◊ แบบมาตรฐานเกี่ยวกับปรับปรุงแหล่งน้ำ

4.4 ตัวอย่างการเขียนรายละเอียดลักษณะโครงการ

(1) ลักษณะโครงการอ่างเก็บน้ำ

◊ ด้านอุทกวิทยา

ที่ตั้งโครงการแผนที่ระวาง.....พิกัด.....

พื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อน.....กม^2

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในบริเวณพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อน.....มม.

ปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปีที่ไหลลงสู่อ่างฯ.....ม^3

ระดับน้ำสูงสุดในลำน้ำจากการสำรวจ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำนองสูงสุด.....ม^3/วินาที

◊ เขื่อนดิน

ชนิดเขื่อนดิน.....

เขื่อนดินสูง.....ม.

เขื่อนดินยาว.....ม.

ระดับสันเขื่อน.....(ม.รทก.)

ระดับน้ำเก็บกักในอ่างฯ.....(ม.รทก.)

ระดับน้ำสูงสุดในอ่างฯ.....(ม.รทก.)

ความจุอ่างเก็บน้ำที่ระดับเก็บกัก.....$ม^3$

ความจุที่พักตะกอน.....$ม^3$

ความจุอ่างเก็บน้ำสำรองใช้งาน.....$ม^3$

พื้นที่ผิวน้ำที่ระดับเก็บกัก.....ไร่

◊ อาคารระบายน้ำล้น

ชนิดของอาคารระบายน้ำล้น.....

ความกว้าง.....ม.

ความยาว.....ม.

ความสูง.....ม.

ระบายน้ำสูงสุด.....$ม^3$/วินาที

ชนิดของอาคารระบายน้ำลงลำน้ำเดิม.....

ขนาด(เส้นผ่าศูนย์กลางxจำนวนท่อ).....ม.

ขนาด(บานประตูxจำนวนบาน).....ม.

ระดับธรณีท่อ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำสูงสุด.....$ม^3$/วินาที

◊ อาคารบังคับน้ำ

ชนิดของอาคาร.....

ขนาด(เส้นผ่าศูนย์กลางxจำนวนท่อ).....ม.

ขนาด(บานประตูxจำนวนบาน).....ม.

ระดับธรณีท่อ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำสูงสุด.....$ม^3$/วินาที

◊ ผลประโยชน์

ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการ ฤดูฝน.....ไร่

ฤดูแล้ง.....ไร่

น้ำอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่.....ครัวเรือน

ช่วยบรรเทาอุทกภัยสำหรับพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการด้านท้ายอ่างฯ
เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด

◊ อื่นๆ

(2) ลักษณะโครงการฝายน้ำล้น/ประตูระบายน้ำ

◊ ด้านอุทกวิทยา

ที่ตั้งโครงการแผนที่ระวาง.....พิกัด.....

พื้นที่รับน้ำฝนเหนือฝายน้ำล้น.....กม^2

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในบริเวณพื้นที่รับน้ำฝนเหนือฝาย.....มม.

ปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปีที่ไหลผ่านฝาย.....ม^3

ระดับน้ำสูงสุดในลำน้ำจากการสำรวจ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำนองสูงสุด.....ม^3/วินาที

◊ ฝายน้ำล้น

ชนิดของฝายฯแบบ.....

ความกว้างสันฝาย.....ม.

ความสูงสันฝายฯจากพื้นฝายฯ.....ม.

ระดับน้ำเก็บกัก.....(ม.รทก.)

ระดับน้ำสูงสุด.....(ม.รทก.)

ระบายน้ำได้สูงสุด.....ม^3/วินาที

◊ อาคารบังคับน้ำ

ชนิดของอาคาร.....

ขนาด(เส้นผ่าศูนย์กลางxจำนวนท่อ).....ม.

ขนาด(บานประตูxจำนวนบาน).....ม.

ระดับธรณีท่อ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำสูงสุด.....ม^3/วินาที

◊ ผลประโยชน์

ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการ ฤดูฝน.....ไร่

ฤดูแล้ง.....ไร่

น้ำอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่.....ครัวเรือน

ช่วยบรรเทาอุทกภัยสำหรับพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการด้านท้ายอ่างฯ
เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด

◊ อื่นๆ

(3) ลักษณะโครงการระบบส่งน้ำ

. ◊ อาคารบังคับน้ำ

ชนิดของอาคาร.....

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ.....ม.

ขนาดบานประตู.....ม.

จำนวนบานประตู.....บาน

ระดับธรณีท่อ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำสูงสุด.....$ม^3$/วินาที

◊ คลองส่งน้ำ

ที่ตั้งโครงการแผนที่ระวาง.....พิกัด.....

ชนิดคลองส่งน้ำ.....

คลองส่งน้ำสาย.....กว้าง.....ม.ลึก.....ม.ยาว.....ม.

ลาดท้องคลอง.....ปริมาณน้ำที่ส่งได้.....$ม^3$/วินาที

คลองส่งน้ำสาย.....กว้าง.....ม.ลึก.....ม.ยาว.....ม.

ลาดท้องคลอง.....ปริมาณน้ำที่ส่งได้.....$ม^3$/วินาที

รวมความยาวคลองส่งน้ำ.....ม.

ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการ ฤดูฝน.....ไร่

ฤดูแล้ง.....ไร่

◊ ท่อส่งน้ำ

ที่ตั้งโครงการแผนที่ระวาง.....พิกัด.....

ชนิดของท่อส่งน้ำ.....

ท่อส่งน้ำสาย.....ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ.....ม.ยาว.....ม.

ปริมาณน้ำที่ส่งได้.....$ม^3$/วินาที

ท่อส่งน้ำสาย.....ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ.....ม.ยาว.....ม.

ปริมาณน้ำที่ส่งได้.....$ม^3$/วินาที

รวมความยาวท่อส่งน้ำ.....ม.

ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการ ฤดูฝน.....ไร่

ฤดูแล้ง.....ไร่

(4) ลักษณะโครงการขุดลอก

◊ ขุดลอกลำน้ำ

ที่ตั้งโครงการแผนที่ระวาง.....พิกัด.....

พื้นที่รับน้ำฝนเหนือฝายน้ำล้น/ประตูระบายน้ำ.....$กม^2$

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในบริเวณพื้นที่รับน้ำฝน.....มม.

ปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปีที่ไหลลงสู่ลำน้ำ.....ม^3

ระดับน้ำเก็บกัก.....ม.

ความลึกขุดลอก(ที่ระดับเก็บกัก).....ม.

ความกว้างขุดลอก.....ม.

◊ อาคารระบายน้ำ(หรืออาคารอื่นๆที่มี)

(5) ลักษณะโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ(หนอง บึง)

◊ ด้านอุทกวิทยา

ที่ตั้งโครงการแผนที่ระวาง.....พิกัด.....

พื้นที่รับน้ำฝน.....กม^2

ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในบริเวณพื้นที่รับน้ำฝน.....มม.

ปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปีที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำ.....ม^3

◊ ขุดลอกแหล่งน้ำ

ความกว้างก้นหนองน้ำ.....ม.

ความยาวก้นหนองน้ำ.....ม.

ความลึกน้ำที่ระดับเก็บกัก.....ม.

ระดับน้ำสูงสุดในหนองน้ำ.....(ม.รทก.)

ระดับน้ำเก็บกักในหนองน้ำ.....(ม.รทก.)

ความจุน้ำที่ระดับเก็บกัก

- ก่อนมีโครงการ.....ม^3
- หลังมีโครงการ.....ม^3

พื้นที่ผิวน้ำในหนองน้ำที่ระดับเก็บกัก.....ไร่

◊ อาคารประกอบหนองน้ำ

ชนิดของอาคารรับน้ำเข้าหลัก.....

จำนวน.....แห่ง

ขนาด(จำนวนแถวxเส้นผ่าศูนย์กลางxจำนวนท่อ).....ม.

ระดับธรณีท่อ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำสูงสุด.....ม^3/วินาที

ชนิดของอาคารรับน้ำเข้ารอง.....

จำนวน.....แห่ง

ขนาด(จำนวนแถวxเส้นผ่าศูนย์กลางxจำนวนท่อ).....ม.

ระดับธรณีท่อ.....(ม.รทก.)

ปริมาณน้ำสูงสุด.....ม^3/วินาที

ชนิดของอาคารระบายน้ำล้นแบบ.....

ความกว้าง.....ม.

ความยาว.....ม.

ระดับสันทางน้ำล้น.....(ม.รสม.)

ระบายน้ำได้สูงสุด.....$ม^3$/วินาที

◊ ผลประโยชน์

สนับสนุนการเพาะปลูกในเขตโครงการ ฤดูฝน.....ไร่

ฤดูแล้ง.....ไร่

น้ำอุปโภคบริโภคของประชาชนในพื้นที่.....ครัวเรือน

เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืด

สามารถฟื้นฟูระบบนิเวศแหล่งน้ำธรรมชาติจำนวน.....ไร่

◊ อื่นๆ

4.5 แบบประกอบ ได้แก่แบบต่างๆ ซึ่งประกอบรวมอยู่ในชุดที่จะต้องนำไปใช้ในการก่อสร้างร่วมกัน จะเป็นแบบที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะกับส่วนหรืออาคารที่ได้กล่าวถึงเท่านั้น โดยจะมีการเรียงลำดับจากแปลนทั่วไปจนถึงรายละเอียดทั้งหมด

แบบที่จะต้องเขียนไว้ในหัวข้อแบบประกอบ ให้เขียนชื่อแบบอย่างย่อพร้อมทั้งหมายเลขแบบ แบบทั้งหมดของงานหนึ่งๆ ควรจะเขียนรวมไว้ในแบบแผ่นใดแผ่นหนึ่งที่สมควร แต่ถ้าเป็นงานใหญ่มีแบบเป็นจำนวนมาก ก็อาจจะเขียนไว้แต่เพียงแบบแผ่นเริ่มต้นของอาคารหรือส่วนของอาคารที่สำคัญ ซึ่งในแบบที่กล่าวนี้ก็จะมีรายการของแบบประกอบเฉพาะส่วนอีกต่างหาก

ในบางกรณีการเขียนแบบรายละเอียดของรูปใดรูปหนึ่งในแบบ อาจมีความจำเป็นต้องชี้เน้นตรงรูปนั้นถึงแบบหมายเลขใดหมายเลขหนึ่งที่ต้องนำมาใช้ร่วมด้วย ดังนั้นแบบที่ถูกอ้างถึงในรูปดังกล่าวก็จะต้องนำมาเขียนอ้างไว้ในรายการของหัวข้อแบบประกอบด้วย

4.6 หมายเหตุในแบบ คือ ข้อความที่บอกรายละเอียดเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่ได้แสดงเป็นรูปหรือเขียนไว้ในแบบ เช่น เกณฑ์การออกแบบ ข้อกำหนดการก่อสร้างและคุณสมบัติของวัสดุที่ต้องใช้ เป็นต้น

หัวข้อหมายเหตุควรเขียนไว้ใต้หัวข้อแบบประกอบ

หมายเหตุทั่วไปควรเขียนในแบบที่แสดงแปลนและรูปตัดทั่วไป และถ้าจะต้องมีหมายเหตุเกี่ยวข้องกับอาคารส่วนใดส่วนหนึ่งโดยเฉพาะแล้ว ก็ควรจะเขียนไว้ในแบบที่แสดงอาคารของส่วนนั้นๆเป็นต่างหาก แบบประกอบบางประเภทสมควรเขียนอ้างอิงไว้ในหัวข้อหมายเหตุ คือ

(1) แบบประกอบที่ต้องใช้ควบคู่ไปกับแบบทุกแผ่นหรือเกือบทุกแผ่น เช่น แบบแสดงสัญลักษณ์หมายเหตุทั่วไปและอักษรย่อ เป็นต้น สมควรอ้างไว้ในหัวข้อหมายเหตุ

(2) แบบประกอบในอาคารเดียวกัน แต่เป็นงานต่างสาขากัน เช่น ตัวแบบด้านสถาปัตยกรรม เมื่ออ้างถึงแบบประกอบด้านโครงสร้าง ด้านไฟฟ้า หรือด้านเครื่องกล ก็ควรอ้างไว้ในหัวข้อหมายเหตุ

(3) แบบประกอบที่ต้องอ้างอิงถึง แต่เป็นข้อมูลทางวิชาการหรือทางการคำนวณออกแบบเท่านั้น ไม่มีความจำเป็นในการก่อสร้างของอาคารที่กล่าวถึงเลย ก็ควรจะอ้างไว้แต่ในหัวข้อหมายเหตุ

สำหรับการเขียนหมายเหตุในงานแต่ละประเภทก็ได้มีแสดงไว้เป็นตัวอย่าง ทั้งหมายเหตุมาตรฐานและหมายเหตุข้อแนะนำ

หมายเหตุมาตรฐาน: คือ หมายเหตุที่จำเป็นต้องระบุไว้เสมอ ซึ่งควรเขียนไว้เป็นมาตรฐานเดียวกันและเหมือนกัน

หมายเหตุข้อแนะนำ: คือ แนวทางการเขียนหมายเหตุที่อาจจะต้องนำมาใช้ ซึ่งหัวหน้างานควรพิจารณาเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ตามความเหมาะสม

สำนักพัฒนาแหล่งน้ำได้จัดทำคู่มือมาตรฐานการเขียนแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับมาตรฐานการเขียนแบบดังนี้

1) คำแนะนำทั่วไป
2) สัญญนิยมของเส้น
3) การใช้อุปกรณ์ในการเขียนแบบและขนาดตัวอักษร
4) การบอกมิติ
5) สัญลักษณ์และเครื่องหมายประกอบ
6) ขนาดแบบและกรอบชนิดต่างๆ
7) การจัดทำแบบเพื่อการก่อสร้าง
8) การจัดทำแบบนอกเหนือจากแบบก่อสร้างและการตรวจแบบ
9) การเขียนแบบ Auto CAD

เพื่อให้การเขียนแบบเป็นไปในแนวทางและการปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ได้แก่ การจัดลำดับของแบบ การกำหนด รูปด้าน รูปตัด รูปขยาย ลักษณะและขนาดของเส้นและตัวหนังสือและอื่นๆ โดยถือตามมาตรฐานการเขียนแบบของกรมทรัพยากรน้ำ

ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากมาตรฐานการเขียนแบบงานแหล่งน้ำ ของกรมทรัพยากรน้ำ เอกสารหมายเลข สพน. 019 เดือน เมษายน 2546

ส่วนที่ 5

การประมาณราคาโครงการ

5. การประมาณราคาโครงการ

5.1 ชนิดของเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดิน การก่อสร้างโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ เครื่องจักรกลก่อสร้างงานดิน เป็นตัวหลักสำคัญที่ขับเคลื่อนการปฏิบัติงานให้ลุล่วงตามภารกิจ ทั้งการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ เขื่อนทดน้ำ ประตูระบายน้ำ ฝายน้ำล้น ระบบกระจายน้ำ ระบบระบายน้ำ การขุดลอกลำน้ำ/คลอง/หนอง/บึงและงานอื่นๆ เช่น รถดัน(Bolldozer) รถขุด(Excavator) รถตัก(Loader) รถเกลี่ยดิน (Grader) รถบดอัด (Compacter) และรถบริการต่างๆ เป็นต้น มีรายละเอียดดังนี้

1) รถขุดไฮดรอลิค (Excavator Back-Hoe) เป็นเครื่องจักรกลที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายวัสดุซึ่งสามารถทำการขุดและตักแล้วเคลื่อนย้ายไปเท โดยทั่วไปจะมีแขนยื่นบุ้งกี๋หรือที่จับออกไปขุดและตักเข้า แขนมาตรฐานความจุบุ้งกี๋มีอยู่หลายขนาด แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปเป็นขนาดมาตรฐานความจุ 0.8 ลบ.ม. เครื่องยนต์ขนาด 110-153 แรงม้า สามารถขุดได้ 35-45 ลบ.ม./ชม. และจะหมุนส่วนบนของตัวรถไปยังตำแหน่งที่ต้องการ แล้วก็จะเทวัสดุออกจากบุ้งกี๋หรือที่จับ ส่วนด้านล่างของตัวรถที่สัมผัสกับพื้นจะไม่เคลื่อนย้ายสำหรับการทำงาน

รถขุดไฮดรอลิค(Excavator Back-Hoe)

ลักษณะของการทำงาน

(1) ขุดดิน หิน ทราย

(2) ขุดลอก ขุดขยาย คู คลอง

(3) ถางป่า ล้มต้นไม้

(4) เคลื่อนย้ายวัสดุ อุปกรณ์

ความสามารถของรถขุดไฮดรอลิค ขนาด 200 แรงม้า

(1) ขุดตักลูกรังได้ 600 ลบ.ม./วัน

(2) ขุดตักดินได้ 930 ลบ.ม./วัน

(3) ขุดลอกได้ 800 ลบ.ม./วัน

2) รถแทรคเตอร์(Tractor) เป็นเครื่องจักรกลที่เปลี่ยนกำลังของเครื่องยนต์ให้เป็นกำลังขับเคลื่อน โดยส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปหมุนล้อเฟือง (sprocket) เพื่อไปขับชุดสายพานตีนตะขาบให้เคลื่อนที่ไปและทำให้แผ่นตีนตะขาบซึ่งติดอยู่กับสายพานตีนตะขาบตะกุยไปบนพื้น ทำให้ตัวรถเคลื่อนที่ไป สามารถใช้กำลังในการขับเคลื่อนได้สูง เนื่องจากจะไม่เกิดการลื่นไถลได้ง่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานบนพื้นที่ไม่แน่นอน สามารถทำงานบนพื้นที่เป็นดินและบริเวณที่มีหินแหลมคมได้ เพราะหินแหลมคมจะไม่ทำให้ชุดสายพานตีนตะขาบชำรุดได้ง่าย สามารถทำงานในพื้นที่ขรุขระได้ดี จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นที่ในการทำงาน เช่น

o รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ (Bulldozer Tractor) โดยรถดันตีนตะขาบขนาด 140-285 แรงม้า สามารถขุดเปิดหน้าดินได้ 41-206 ลบ.ม./ชม.ที่ความลึกประมาณ 0.30 ม.

รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ (Bulldozer Tractor)

ลักษณะของการทำงาน

(1) ถางป่า ล้มต้นไม้

(2) งานดันและตัก

ความสามารถของรถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ

(1) ขนาด 270 แรงม้า สามารถทำงานถางป่าได้ 3.50 ไร่/วัน

(2) ขนาด 140 แรงม้า สามารถทำงานดันและตักได้ 560 ลบ.ม/วัน

(3) ขุดลอกได้ 800 ลบ.ม./วัน

o รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบกว้าง (Low Ground Tractor) สามารถทำงานในพื้นที่ลุ่มได้ดี เพราะมีการลอยตัว(floatation) ดีหรือความดันที่กดลงบนพื้น(Ground Pressure) ต่ำนั่นเอง

รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบกว้าง (Low Ground Tractor)

o รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบติดเครื่องทำลาย (Ripper Tractor) เครื่องทำลายที่ติดกับรถดันตีนตะขาบจะใช้ในการขุดหิน ที่ไม่แข็งนักแทนการระเบิด โดยทั่วไปความแข็งของหินจะนิยมวัดโดยใช้เครื่องมือ seismograph ซึ่งจะวัดความเร็วของคลื่นเสียงผ่านหินชนิดต่างๆ สาหรับความเร็วของคลื่นสียงจะมีค่าตั่งแต่ 300 เมตร/วินาที ในดินอ่อนจนถึง 6,000 เมตร/วินาทีในหินแข็ง คราดจะทำงานได้ดีสำหรับหินที่มีค่าความเร็วของคลื่นสียง 1,000 -2,000 เมตร/วินาที และหินควรจะมีรอยแตกหรือรอยแยกเปราะและเป็นชั้นๆ สามารถขูดหรือขุด หิน ที่แข็งไม่มากนัก ขูดหินผุที่เป็นพื้นที่ลาดชันหรือพื้นที่แคบๆ แทนการระเบิด ขุดดินขุดยากที่มีพื้นที่กว้าง

รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบติดเครื่องทำลาย (Ripper Tractor)

3) รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader) จะใช้ในงานขุด เกลี่ยและตบแต่งผิว สำหรับงานสร้างถนนหรืองานปรับระดับพื้น รถเกลี่ยจะเป็นเครื่องจักรกลล้อยางแบบขับเคลื่อนด้วยตัวเอง มีทั้งแบบ 4 ล้อ ขับเคลื่อน 2 ล้อ และ 4 ล้อ แบบ 6 ล้อ ขับเคลื่อน 2 ล้อ 4 ล้อ และ 6 ล้อ ขนาดของตัวรถซึ่งนิยมกำหนดด้วยขนาดของเครื่องยนต์มีให้เลือกตั้งแต่ขนาด 50 แรงม้าจนถึง 350 แรงม้า รถปาดเกลี่ยดินขนาด 125-150 แรงม้า สามารถทำงานได้ 385-693 ลบ.ม./ชม.ที่ความลึกประมาณ 5-15 ซม.

รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader)

ลักษณะของการทำงาน

(1) การกระจายกองวัสดุ สามารถทำได้โดยการเลื่อนใบมีดออกด้านข้าง แล้วเข้าไปดันให้กองวัสดุกระจายออกทีละน้อย ซึ่งล้อของรถเกลี่ยจะไม่ปีนกองวัสดุ และในขณะที่ดันกองวัสดุออกก็ค่อย ๆ ยกใบมีดขึ้นเพื่อจะเกลี่ยวัสดุด้านหน้าของใบมีดให้กระจายออก

(2) การปรับระดับพื้นที่ขรุขระ เช่น การซ่อมถนนลูกรังหรือถนนดินประเภทอื่น การปรับระดับสามารถกระทำได้ โดยการขูดผิวพื้นเดิมที่ขรุขระออก ซึ่งในการขูดนั้นใบมีดของรถเกลี่ยจะลดลงและเอียงให้วัสดุที่ถูกขูดออกไหลไปกองไว้ด้านข้าง หลังจากนั้นก็จะเกลี่ยกองวัสดุมายัง บริเวณที่ถูกขูดออกอีกและปรับให้ได้ระดับ

(3) การตัดร่องน้ำ โดยทั่วไปแล้วในการสร้างถนน ขอบของถนนจะตัดเป็นร่องน้ำ ซึ่งรถเกลี่ยจะทำการตัดร่องน้ำโดยการกดใบมีดด้านที่จะตัดลง และยกใบมีดอีกด้านหนึ่งขึ้นพร้อมกับเอียงใบมีดเพื่อให้วัสดุที่ถูกตัดออกมากองด้านข้าง การตัดนี้จะค่อยๆ ทำหลายๆ ครั้งจนได้ความลึกและความกว้างตามต้องการ ซึ่งการตัดอาจกระทำสลับกับการเกลี่ยกองวัสดุที่ถูกตัดออกขึ้นมาบนพื้นถนน

ความสามารถของรถปาดเกลี่ยดินขนาด 120 แรงม้า

(1) เกลี่ยหรือผสมหินคลุกสำหรับบดอัดแน่นได้ 290 ลบ.ม./วัน

(2) ถากถางป่าโปร่งได้ 3.50 ไร่ต่อวัน

(3) เกลี่ยลูกรังสำหรับบดอัดแน่นได้ 600 ลบ.ม. ต่อวัน

ส่วนรถปาดเกลี่ยดินขนาด 150 แรงม้าสามารถถากถางป่าโปร่งได้ 8 ไร่/วัน

4) รถบด (Compactor) ในงานก่อสร้างที่มีการนำวัสดุมาถมเพื่อทำเป็นคันหรือถมที่ต่ำให้สูงขึ้นหรือทำเป็นฐานของถนน จำเป็นที่จะต้องมีการบดอัด ทั้งนี้เพื่อให้วัสดุที่นำมาถมนี้สามารถรับแรงได้โดยไม่มีการทรุดตัว ในข้อเท็จจริงขณะที่เครื่องจักรกลต่าง ๆ ทำงานถมวัสดุดังกล่าว ในการดัน การเกลี่ย และการปรับแต่งเครื่องจักรกลก็จะทำการบดอัดไปด้วยอยู่แล้ว แต่ยังไม่เป็นการเพียงพอ จำเป็นที่จะต้องมีการบดอัดเพิ่มเติมโดยเครื่องบดอัดเพื่อให้ได้ความแน่นตามต้องการ การบดอัดสามารถทำได้หลายลักษณะโดยเครื่องบดอัดประเภทต่าง ๆ ซึ่งการเลือกใช้รถบดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับ ชนิด ประเภท และคุณสมบัติของวัสดุที่จะทำการบดอัด เช่น

o รถบดล้อยาง (Rubber Tire Roller compactor) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยล้อยางบดคู่หน้าหลังและล้อยางบดระบบไฮดรอลิค เนื่องจากอุปกรณ์เกียร์ที่ใช้ รถบดถนนล้อยางบดคู่หน้าหลังเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณภาพในการอัดสูงสำหรับงานที่ต้องการคุณภาพสูงเช่นทางหลวง สนามบิน สร้างถนนและฐานโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการอัดพื้นยางมะตอยขั้นสุดท้ายบนทางหลวง

รถบดล้อยาง (Rubber Tire Roller compactor)

ความสามารถของรถบดล้อยาง

(1) ลูกรังบดอัดทับแน่นได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน

(2) หินคลุกบดอัดทับแน่นได้ 290 ลบ.ม.ต่อวัน

o รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers) เป็นทั้งเครื่องกลและไฮดรอลิคขึ้นอยู่กับระบบขับเคลื่อน เครื่องจักรประเภทนี้เหมาะสำหรับกองวัสดุที่ไม่ยึดติดกันเช่น ดินลูกรัง ก้อนกรวด หินปนทราย ดินทราย หินก้อนเล็กและอื่นๆ พร้อมกับแรงหนีศูนย์กลางบนฐาน ชั้นรองฐาน การสร้างเขื่อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะที่สุดกับการสร้างที่ต้องการคุณภาพสูงเช่น ทางด่วน สนามบิน ท่าเรือ เขื่อนและฐานของโรงงานอุตสาหกรรม และยังมีรถบดถนนล้อเหล็กที่เหมาะกับการใช้งานบนที่สูง รถบดถนนล้อเหล็กหน้านี้มีห้องขับที่ปิดมิดชิดและแข็งแรงเป็นพิเศษ นอกจากนี้ยังมีเครื่องวัดความหนาแน่นแบบดิจิตอลเพื่อการันตีคุณภาพอีกด้วย

รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers)

ความสามารถของรถบดล้อหนามแบบสั่นสะเทือน

(1) ลูกรังบดอัดทับแน่นได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน

(2) หินคลุกบดอัดทับแน่นได้ 290 ลบ.ม.ต่อวัน

o รถบดล้อเหล็กเรียบแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Smooth Steel Wheel Rollers) เป็นทั้งเครื่องกลและไฮดรอลิคขึ้นอยู่กับระบบขับเคลื่อน เครื่องจักรประเภทนี้เหมาะสาหรับกองวัสดุที่ไม่ยึดติดกันเช่น ดินลูกรัง ก้อนกรวด หินปนทราย ดินทราย หินก้อนเล็กและอื่นๆ พร้อมกับแรงหนีศูนย์กลางบนฐาน ชั้นรองฐาน การสร้างเขื่อน ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะที่สุดกับการสร้างที่ต้องการคุณภาพสูงเช่น ทางด่วน สนามบิน ท่าเรือ เขื่อน และฐานของโรงงานอุตสาหกรรม

รถบดล้อเหล็กเรียบแบบสันสะเทือน (Vibrate Smooth Steel Wheel Rollers)

ความสามารถของรถบดล้อเหล็กเรียบแบบสั่นสะเทือน

(1) ลูกรังบดอัดทับแน่นได้ 600 ลบ.ม.ต่อวัน

(2) หินคลุกบดอัดทับแน่นได้ 290 ลบ.ม.ต่อวัน

o รถบดล้อหนามขนาดใหญ่ (Large Sheep foot Rollers) การบดอัดดินเป็นกระบวนการอย่างหนึ่งที่จะเพิ่มความหนาแน่นหรือความต้านทานของดินขึ้น โดยพยายามไม่ให้มีช่องว่างของอากาศแทรกอยู่ และขับไล่น้ำให้ออกไปจากช่องว่างเหล่านั้น เพื่อให้พื้นดินเกิดความมั่นคงสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นเหมาะสำหรับดินประเภททรายที่มีลักษณะคละกันของตะกอนกรวดและดินเหนียว ไม่เหมาะกับพื้นที่เป็นทรายหรือดินเหนียวที่อ่อนนุ่ม

รถบดล้อหนามขนาดใหญ่ (Large Sheep foot Rollers)

5) รถตักล้อยาง (Wheel Loader) การเลือกชนิด ขนาดและจำนวนรถตักที่จะสามารถตักดินหรือหินให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการในทางปฏิบัติพบว่ารถตักขนาดใหญ่น้อยคันทำงานได้ดีกว่ารถตักขนาดเล็กหลายคันและงานขุดตักถ้าใช้รถตักจำนวนมากเกินไปค่าใช้จ่ายในการตักสูง แต่ถ้าใช้จำนวนน้อยจะทำให้เกิดการรอคอยหรือคอขวด(Bottom Neck) ที่งานตัก ทำให้ค่าใช้จ่ายในการตักสูงขึ้นเช่นกัน

รถตักล้อยาง (Wheel Loader)

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกขนาดและชนิดของรถตักได้แก่

(1) การเลือกชนิดรถตักและขนาดของบุ้งกี๋รถตักนั้นจะต้องสัมพันธ์กับขนาดปากโม่ที่รับหินได้ เนื่องจากจะทำให้หินขนาดใหญ่เกินไปไม่ติดค้างที่ปากโม่

(2) ขนาดของบุ้งกี๋รถตักจะต้องสัมพันธ์กับขนาดของรถบรรทุก จำนวนครั้งของการตักจะต้องพอดีกับความสามารถของรถที่บรรทุกได้

(3) ความสูงในการตักจะต้องเหมาะสม

(4) ความคล่องตัวและความปลอดภัยในการทำงาน

ความสามารถของรถตักล้อยาง

รถตักล้อยางขนาด 120 แรงม้า สามารถดันและตักดิน หิน และ ทรายได้ 560 ลบ.ม.ต่อวัน

6) รถบรรทุกเทท้าย (Dump Truck) ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายวัสดุและอุปกรณ์ในงานก่อสร้าง เช่น ใช้งานร่วมกับรถตักในการเคลื่อนย้ายดินไปเทในที่ไกลๆ หรือลำเลียงวัสดุมาใช้ในการทำถนน หรือใช้ในการขนวัสดุมาใช้ในการก่อสร้าง เป็นรถยนต์สาหรับการขนถ่ายสิ่งของ เช่น หิน ดิน ทราย หรืออุปกรณ์ก่อสร้าง เป็นต้น มีระบบยกเทแบบไฮดรอลิคดันใต้ท้องกระบะ มีกระบอกไฮดรอลิคที่มีคุณภาพสูง โดยทั่วไปใช้รถบรรทุกเทท้าย 10 ล้อ(ขับเคลื่อน 2 เพลา) ขนาดความจุ 10 ลบ.ม. ขนาดเครื่องยนต์ตั้งแต่ 170 – 320 แรงม้า ประสิทธิภาพในการทำงาน 35 – 55 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง(ขนย้ายระยะทางไม่เกิน 1 กิโลเมตร)

รถบรรทุกเททท้าย (Dump Truck)

ความสามารถของรถบรรทุกเททท้าย

รถบรรทุกขนาด 300 แรงม้า จำนวน 2 คัน ระยะทาง 1 กม.สามารถขนย้าย ดิน ทราย หิน กรวด ได้ 1,200 ลบ.ม.ต่อวัน เพิ่มจำนวนรถ 1 คัน ทุกๆ ระยะทางที่เพิ่มขึ้น 1 กม. เพื่อลดระยะเวลาการรอคอย

7) รถบรรทุกน้ำ (Water Truck) เป็นรถที่ใช้ในการให้ความชื้นกับดินในการบดอัดแน่น งานเขื่อน และงานถนน ใช้รดน้ำในทางลำเลียง เพื่อไม่ให้เกิดฝุ่นในระหว่างรถบรรทุกดินทำงานและใช้ในงานอุปโภคบริโภค

8) รถบรรทุกขนาด 4-6 ตัน จะใช้ในการลำเลียงวัสดุ สำหรับส่วนที่สำคัญของรถบรรทุกจะประกอบด้วย เครื่องยนต์นิยมใช้เครื่องยนต์ดีเซล ระบบถ่ายทอดกำลังโดยทั่วไปจะใช้คลัตช์แบบแห้งแผ่นเดียว ห้องเกียร์แบบธรรมดา ระบบเบรกจะเป็นแบบน้ำมัน โดยใช้ลมช่วยหรือเป็นแบบเบรกลมมีเบรกไอเสียช่วย

9) รถเครน(ปั้นจั่น) เป็นเครื่องมือที่จำเป็นในการอำนวยความสะดวก ส่วนมากจะใช้สำหรับการยกเคลื่อนย้ายวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ระหว่างปฏิบัติงาน รถเครน(ปั่นจั่น)มีอยู่ 3 แบบ คือรถตีนตะขาบ รถบรรทุก และรถล้อยาง ซึ่งมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป

10) เครื่องสูบน้ำ เป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว เพื่อให้ของเหลวไหลผ่านระบบท่อ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ตามความต้องการ พลังงานที่นำมาเพิ่มให้กับของเหลวนั้น อาจได้จากเครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า แรงลมหรือพลังงานแหล่งอื่นๆ ในปัจจุบันเครื่องสูบน้ำมีการพัฒนาและผลิตออกจำหน่ายหลายชนิด และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไป มีการจำแนกเครื่องสูบน้ำออกเป็นกลุ่มโดยยึดเอาหลักการใดหลักการหนึ่งเป็นพื้นฐาน ทำให้เกิดการแยกประเภทเครื่องสูบน้ำขึ้นหลายแบบ ลักษณะของการทำงาน คือ สูบน้ำระหว่างก่อสร้าง สูบน้ำเพื่อการเกษตรและสูบน้ำแก้ปัญหาภัยพิบัติ ซึ่งปริมาณน้ำในการสูบขึ้นอยู่กับขนาดท่อและขนาดเครื่องยนต์

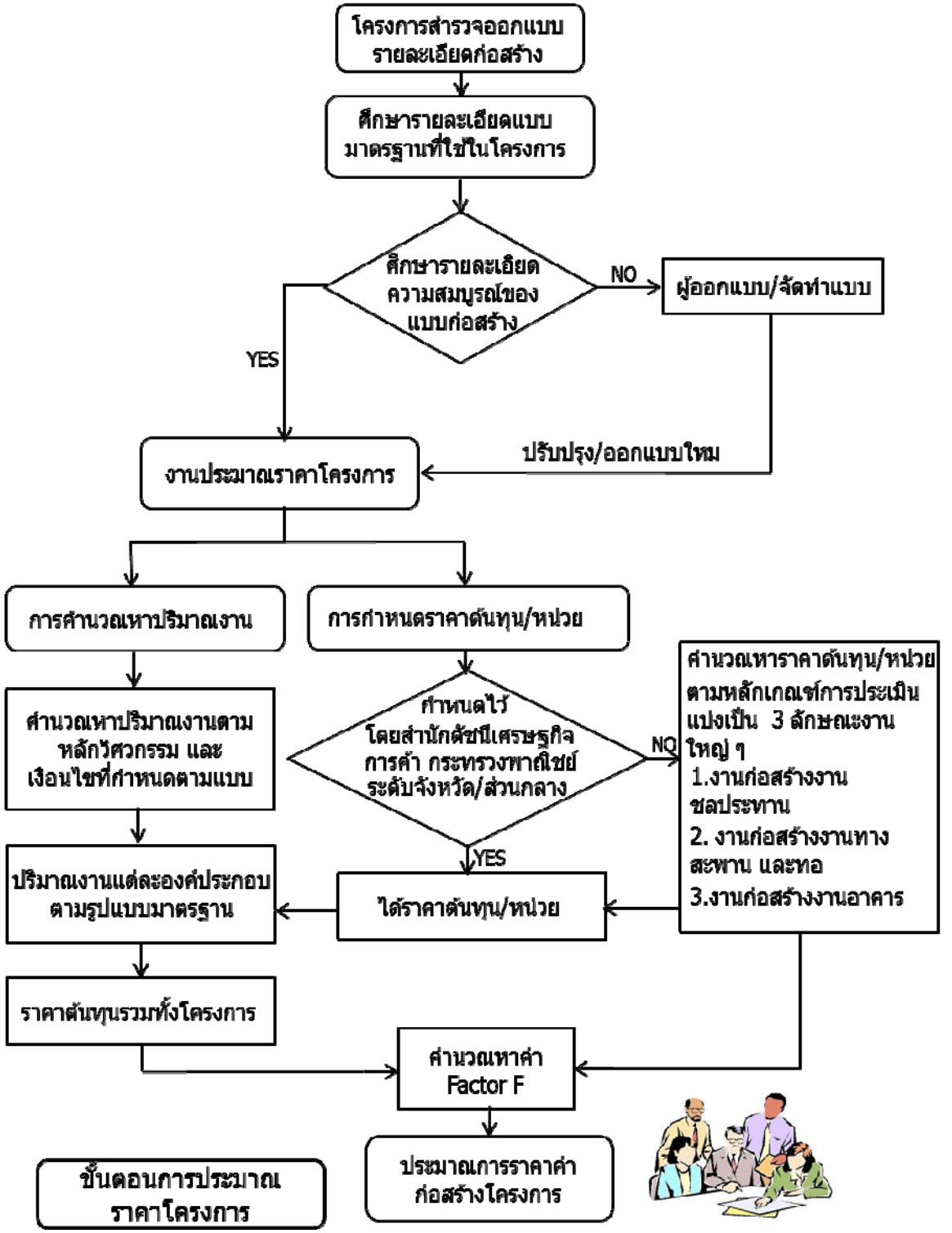
5.2 การจัดเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดิน

1) การจัดเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดินสำหรับโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ

รายการ	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	อัตราการทำงาน ($ม^3$/ชม./เครื่อง)	อัตราการทำงาน ($ม^3$/วัน/เครื่อง) คิด 7 ชม./วัน	หมายเหตุ
เครื่องจักร ชุด ก				ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลวไม่เกิน 800,000 $ม^3$
◊ รถขุด(Excavator Back-Hoe) 200 แรงม้า	2	150	2,100	
◊ รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ(Bulldozer Tractor) 285 แรงม้า	2	200	2,800	
◊ รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader) 125 แรงม้า	1	350	2,450	
◊ รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers)	2	150	2,100	
เครื่องจักร ชุด ข				ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว+หินผุ ไม่เกิน1,500,000 $ม^3$
◊ รถขุด(Excavator Back-Hoe) 200 แรงม้า	4	150	4,200	
◊ รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ(Bulldozer Tractor) 285 แรงม้า	3	200	4,200	
◊ รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader) 125 แรงม้า	2	350	4,900	
◊ รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers)	4	150	4,200	
เครื่องจักร ชุด ค				ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว เกินกว่า 1,500,000 $ม^3$
◊ รถขุด(Excavator Back-Hoe) 200 แรงม้า	5	150	5,250	
◊ รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ(Bulldozer Tractor) 285 แรงม้า	4	200	5,600	
◊ รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader) 125 แรงม้า	2	350	4,900	
◊ รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers)	5	150	5,250	

2) การจัดเครื่องจักรกลก่อสร้างงานดินสำหรับโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ

รายการ	จำนวนเครื่องจักร (เครื่อง)	อัตราการทำงาน ($ม^3$/ชม./เครื่อง)	อัตราการทำงาน ($ม^3$/วัน/เครื่อง) คิด 7 ชม./วัน	หมายเหตุ
เครื่องจักร ชุด ก				ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว+หินผุ ไม่เกิน 200,000 $ม^3$
◊ รถขุด(Excavator Back-Hoe) 200 แรงม้า	1	150	1,050	
◊ รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ(Bulldozer Tractor) 285 แรงม้า	1	200	1,400	
◊ รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader) 125 แรงม้า	1	350	2,450	
◊ รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers)	1	150	1,050	
เครื่องจักร ชุด ข				ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว+หินผุ ไม่เกิน 350,000 $ม^3$
◊ รถขุด(Excavator Back-Hoe) 200 แรงม้า	2	150	2,100	
◊ รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ (Bulldozer Tractor) 285 แรงม้า	2	200	2,800	
◊ รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader) 125 แรงม้า	1	350	2,450	
◊ รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers)	2	150	2,100	
เครื่องจักร ชุด ค				ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว+หินผุ เกินกว่า 350,000 $ม^3$
◊ รถขุด(Excavator Back-Hoe) 200 แรงม้า	3	150	3,150	
◊ รถแทรคเตอร์ตีนตะขาบ (Bulldozer Tractor) 285 แรงม้า	2	200	2,800	
◊ รถปาดเกลี่ยดิน (Motor Grader) 125 แรงม้า	2	350	4,900	
◊ รถบดล้อเหล็กหนามแบบสั่นสะเทือน (Vibrate Sheep Foot Wheel Rollers)	3	150	3,150	


โครงการสำรวจออกแบบ
รายละเอียดก่อสร้าง
ศึกษารายละเอียดแบบ
มาตรฐานที่ใช้ในโครงการ
ศึกษารายละเอียด
ความสมบูรณ์ของ
แบบก่อสร้าง
NO
ผู้ออกแบบ/จัดทำแบบ
YES
ปรับปรุง/ออกแบบใหม่
งานประมาณราคาโครงการ
การคำนวณหาปริมาณงาน
การกำหนดราคาต้นทุน/หน่วย
คำนวณหาปริมาณงานตาม
หลักวิศวกรรม และ
เงื่อนไขที่กำหนดตามแบบ
กำหนดไว้
โดยสำนักดัชนีเศรษฐกิจ
การค้า กระทรวงพาณิชย์
ระดับจังหวัด/ส่วนกลาง
NO
คำนวณหาราคาต้นทุน/หน่วย
ตามหลักเกณฑ์การประเมิน
แบ่งเป็น 3 ลักษณะงาน
ใหญ่ ๆ
1.งานก่อสร้างงาน
ชลประทาน
2. งานก่อสร้างงานทาง
สะพาน และทอ
3.งานก่อสร้างงานอาคาร
YES
ปริมาณงานแต่ละองค์ประกอบ
ตามรูปแบบมาตรฐาน
ได้ราคาต้นทุน/หน่วย
ราคาต้นทุนรวมทั้งโครงการ
คำนวณหาค่า
Factor F
ประมาณการราคาค่า
ก่อสร้างโครงการ
ขั้นตอนการประมาณ
ราคาโครงการ

5.3 การประมาณปริมาณวัสดุและราคาค่าก่อสร้าง วัตถุประสงค์หลักมีดังนี้

(1) เป็นราคาที่ประหยัด/หรือราคาต่ำสุดเท่าที่ยังมีความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมและด้านการลงทุน

(2) เป็นราคาที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในท้องตลาดในเวลาที่ทำการศึกษามากที่สุด

(3) เป็นราคาที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

แหล่งข้อมูลทางด้านราคาที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

- ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย ผู้ให้เช่า ทั้งในส่วนกลางและในท้องถิ่น
- ผู้ประกอบการต่างๆ เช่น แหล่งวัสดุ ผู้ให้บริการด้านขนส่ง ฯลฯ
- กระทรวงพาณิชย์
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ

การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของราคา เพื่อใช้ในการคำนวณหาราคาต่อหน่วย ประเภทของราคา (Cost Items) ที่สำคัญ ได้แก่

- ค่าวัสดุ
- ค่าแรงงาน
- ค่าเครื่องจักร อุปกรณ์เครื่องมือ
- ค่าขนส่ง
- ค่าภาษี
- ค่ากำไร

การประมาณราคาค่าก่อสร้างจะจัดทำตามมาตรฐานที่ยอมรับและตามระเบียบของทางราชการตามขั้นตอนดังนี้

(1) รวบรวมราคาวัสดุ สินค้า และแรงงานประจำเดือนของกรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ กระทรวงพาณิชย์ ตั้งแต่เริ่มจะทำการศึกษา ผู้ประมาณราคาจะวิเคราะห์แนวโน้มของราคาและดัชนีราคาต่างๆ เพื่อจะนำมาใช้ในการประมาณราคา

(2) ตรวจสอบราคาต่อหน่วย สำหรับรายการก่อสร้างต่างๆ จากประสบการณ์ในงานลักษณะเดียวกันที่เพิ่งทำไปแล้ว โดยพิจารณางานโครงการลักษณะเดียวกันของหน่วยงานต่างๆ โดยเฉพาะโครงการที่เพิ่งก่อสร้างแล้วเสร็จใน 1-2 ปีที่ผ่านมา

(3) สำรวจราคาวัสดุ ค่าแรงงานขั้นต่ำที่ใช้อยู่ปัจจุบันและราคาแรงงานฝีมือในท้องตลาดในเขตพื้นที่โครงการ สำหรับงานที่เป็นลักษณะเดียวกันของโครงการ ทั้งนี้เพื่อปรับแก้ข้อมูลราคาต่อหน่วยใน (1) และ (2) ให้ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน

(4) เมื่อได้เตรียมแบบเรียบร้อยแล้ว ผู้คิดปริมาณงานและประมาณราคาจะถอดแบบรายละเอียดออกเป็นหมวดหมู่ ตามมาตรฐานการคิดปริมาณงาน จากนั้นจึงจะนำปริมาณงานและราคาต่อหน่วยที่ปรับปรุงแก้ไขล่าสุดในข้อ (3) มาคิดราคาค่าก่อสร้างโครงการต่อไป

5.4 องค์ประกอบของค่าก่อสร้างของโครงการ

องค์ประกอบของค่าก่อสร้างของโครงการประกอบด้วยค่าใช้จ่าย 3 ส่วน คือ

(1) ค่าวัสดุก่อสร้างเป็นค่าวัสดุที่แหล่งผลิตและค่าขนส่งวัสดุก่อสร้างจากแหล่งผลิตถึงสถานที่ก่อสร้าง

(2) ค่าดำเนินการ (Operating Cost) เป็นค่าใช้จ่ายของงานที่ใช้เครื่องจักรกลในการทำงาน

(3) ค่าอำนวยการ ค่าความผันผวน ดอกเบี้ย กำไร และภาษี

กรณีงานทำเองการประมาณราคาค่าวัสดุก่อสร้าง ต้องคิดภาษีมูลค่าเพิ่มด้วย

ค่าวัสดุก่อสร้างที่แหล่งผลิต: ราคาวัสดุก่อสร้างที่แหล่งผลิต เช่น ดิน ลูกรัง กรวด หิน ทราย ปูน-ซีเมนต์ และเหล็ก เป็นต้น จะใช้ตามผลการสอบราคาของคณะกรรมการสอบราคาหรือราคาที่ทางราชการประกาศโดยกองระดับราคา กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์ ราคาวัสดุที่นำมาใช้คำนวณราคาประเมินไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

ค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง: ชนิดของรถบรรทุกใช้ขนส่งวัสดุก่อสร้างใช้ตามมติ ครม. (รายละเอียดตามหนังสือสำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี ที่ นร.0506/6579 ลงวันที่ 19 มีนาคม 2555) ส่วนอัตราค่าขนส่งวัสดุก่อสร้างใช้ตามมาตรฐานที่หน่วยงานราชการกำหนด

ค่าดำเนินการ: ค่าดำเนินการ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของเครื่องจักรกลในการดำเนินงาน ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการซื้อหาเครื่องจักร น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันหล่อลื่น ค่าบำรุงรักษา ซ่อมแซม ค่าจ้างพนักงานขับเครื่องจักรกล คิดรวมอยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายเครื่องจักรต่อชั่วโมงและค่าจ้างแรงงาน

ค่าอำนวยการ ค่าความผันผวน ดอกเบี้ย กำไร และภาษี: ค่าอำนวยการ ค่าความผันผวน ดอกเบี้ย กำไร และภาษี (รายละเอียดตามหนังสือสำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี ที่ นร. 0506/6579 ลงวันที่ 19 มีนาคม 2555 และอ้างถึงหนังสือกระทรวงการคลัง ด่วนที่สุด ที่ กค 0421.5/3836 ลงวันที่ 5 มีนาคม 2555 ให้ใช้หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลาง โดยคิดรวมอยู่ในรูปของ Factor ซึ่งจำแนกตามลักษณะงานดังนี้

- งานก่อสร้างอาคาร
- งานก่อสร้างทาง
- งานก่อสร้างสะพานและท่อเหลี่ยม
- งานก่อสร้างชลประทาน

(1) ค่าอำนวยการ: ประกอบด้วย

- ค่าใช้จ่ายในขั้นตอนซื้อแบบและประกวดราคา เช่น ค่าแบบ ค่าค้ำประกันซอง ค่าค้ำประกันสัญญาเป็นต้น
- ค่าใช้จ่ายสำนักงานสนาม เช่น ค่าเช่าสำนักงานสนาม ค่าเช่าบ้านพักเจ้าหน้าที่ ค่าเช่าที่จอดเครื่องจักรกล เป็นต้น
- ค่าเอกสารสิ่งพิมพ์ต่างๆ ด้านธุรการ
- ค่าควบคุมงานก่อสร้าง เช่น ค่ารถ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าจ้างพนักงานขับรถ ค่าซ่อมบำรุงรักษารถ ค่าประกันภัย เป็นต้น
- ค่าบุคลากรสนาม เช่น วิศวกร ช่างควบคุมงาน ช่างเครื่องกล เสมียน คนงาน เป็นต้น
- ค่าใช้จ่ายสำนักงานใหญ่ เช่น ค่าเช่าสำนักงาน ค่าจ้างเจ้าหน้าที่ธุรการ ค่ายานพาหนะ ค่าจ้างบุคลากร เป็นต้น

(2) ค่าความผันผวน: ตามระเบียบของกระทรวงการคลัง เช่น ปัจจุบันใช้อัตราร้อยละ 0.5 ของค่างานสุทธิ (อัตราเบี้ยประกันภัยร้อยละ 0.25 บวกกับค่าความเสียหายเบื้องต้นที่ผู้เอาประกันภัยจะต้องรับผิดชอบเอง เฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.25)

(3) ดอกเบี้ย: ใช้อัตราดอกเบี้ยขั้นต่ำของเงินกู้ (MLR) ของธนาคารกรุงไทย จำกัด เป็นหลักโดยสำนักงานปลัดนายกรัฐมนตรี เป็นหน่วยงานรับผิดชอบในการประกาศอัตราดอกเบี้ยและประกาศการเปลี่ยนแปลงอัตราดอกเบี้ยระหว่างปีงบประมาณ

(4) เงินล่วงหน้า: ตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ เช่น ปัจจุบันจ่ายไม่เกินร้อยละ 15 (ตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ. 2535)

(5) กำไร: ใช้ตามตาราง Factor F ของแต่ละงาน

(6) ภาษี: คิดภาษีมูลค่าเพิ่มอัตราร้อยละ 7 ของค่างานก่อสร้าง

5.5 การคำนวณค่างานต้นทุนต่อหน่วย

การคำนวณค่างานต้นทุนต่อหน่วยจะต้องทราบค่างานต้นทุนก่อน ซึ่งมีรายละเอียดการคิดค่างานหลักดังนี้

(1) งานดินขุด คิดค่าขุด+ค่าขนส่งไปรวมกอง ระยะทางขนส่งโดยประมาณ (ตามตารางค่าขนส่ง)

(2) งานดินตัดภูเขา คิดเฉพาะค่ารถแทรคเตอร์ตัดดินทิ้งข้างทาง+ค่าบดอัดดินที่ตัดแล้ว

(3) งานดินถม คิดราคาซื้อดิน+ค่าขนส่ง (ตามตารางค่าขนส่ง)+ค่าเกลี่ยและบดอัด

(4) งานลูกรัง คิดค่าซื้อลูกรัง+ค่าขนส่ง (ตามตารางค่าขนส่ง)+ค่าเกลี่ยและบดอัดลูกรัง

(5) งานคอนกรีต หินก่อ และหินเรียงยาแนว คิดราคาซื้อวัสดุหิน ปูน ทราย+ค่าขนส่ง (ตามระยะทางในตารางค่าขนส่ง)+ค่าแรงงาน

(6) งานเหล็ก คิดราคาค่าซื้อเหล็ก+ค่าขนส่ง (ตามระยะทางในตารางค่าขนส่ง)+ค่าแรงงาน

(7) งานหินเรียงด้วยมือ คิดราคาซื้อหิน ณ แหล่งผลิต+ค่าขนส่ง (ตามตารางค่าขนส่ง)+ค่าแรงงาน

งานปลูกหญ้า ค่าดำเนินการ

งานจัดซื้อวัสดุ คิดราคาวัสดุจากแหล่งผลิต+ค่าขนส่ง (ตามตารางค่าขนส่ง)

5.6 การคำนวณค่างานก่อสร้าง

การคำนวณค่างานก่อสร้างมีหลักเกณฑ์ดังนี้

(1) งานจ้างเหมา: เมื่อคำนวณค่างานต้นทุนรวมทั้งโครงการแล้วนำไปหาค่า Factor F ของรายการต่างๆ ตามประเภทงานก่อสร้างชลประทาน งานก่อสร้างทางหรืองานสะพานและท่อเหลี่ยม เพื่อนำมาเกลี่ยเข้าไปในค่างานต้นทุนต่อหน่วยเป็นค่างานต่อหน่วยดังนี้

ค่างานต่อหน่วย = ค่างานต้นทุนต่อหน่วย x Factor F

การประเมินราคางานก่อสร้างทำโดยนำราคาต่อหน่วยคูณกับปริมาณงานแต่ละรายการ แล้ว รวมค่างานประเมินทุกรายการ จะได้เป็นค่างานก่อสร้างทั้งโครงการ

(2) งานจัดทำเอง: เมื่อคำนวณค่างานต้นทุนต่อหน่วย แล้วให้เกลี่ยค่าใช้จ่ายในการจราจรติดต่อ 5% และค่าทดสอบวัสดุ 1% (คิดเฉพาะงานที่มีการทดสอบวัสดุ) เป็นค่างานต่อหน่วยดังนี้

ค่างานต่อหน่วย = ค่างานต้นทุนต่อหน่วย x (ค่าจราจรติดต่อ 5% + ค่าทดสอบวัสดุ 1%)

5.7 การจัดทำบัญชีวัสดุก่อสร้าง (Bill of Quantities)

ในขั้นตอนของการประมาณราคาค่าก่อสร้าง วิศวกร/ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องแต่ละด้านจะร่วมกันทำการถอดแบบรายละเอียดเพื่อแยกปริมาณวัสดุ (Materials) และแรงงาน (Labour) ออกมาเป็นรายการเพื่อจัดทำ Bill of Quantities (BOQ) ตามมาตรฐานของกรมทรัพยากรน้ำ โดยยึดหลักแนวทางการปฏิบัติของทาง

ราชการ ซึ่งกำหนดไว้ในระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ. 2535 และที่แก้ไขเพิ่มเติม และประกาศการกำหนดราคากลางของกระทรวงการคลัง เพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติงานประมาณราคาค่าก่อสร้างโครงการที่ถูกต้อง ตามระเบียบและข้อกำหนดของทางราชการ การกำหนดแบบฟอร์มต่างๆ ให้ยึดถือตามมาตรฐานของกรมทรัพยากรน้ำ

5.8 การคำนวณระยะเวลาการก่อสร้าง

การคำนวณระยะเวลาก่อสร้างโครงการอนุรักษ์ ฟื้นฟูและพัฒนาแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นประเภทงานชลประทาน ต้องคำนึงถึงความยากง่ายของการก่อสร้าง(เช่น เทคนิคการก่อสร้าง อุปสรรคของพื้นที่ก่อสร้างในการลำเลียงวัสดุและอุปกรณ์ อุปสรรคในการทำงานของเครื่องจักรกล เป็นต้น) ขีดความสามารถของเครื่องจักรกล จำนวนชุดของเครื่องจักรกลที่ต้องใช้ ฤดูฝนที่เป็นอุปสรรคในการก่อสร้างและระยะเวลาที่ไม่สอดคล้องกันระหว่างการอนุมัติงวดเงินของสำนักงบประมาณกับฤดูกาลที่เหมาะสมต่อการก่อสร้าง(ในทางปฏิบัติกว่าจะได้งวดเงินเพื่อเซ็นสัญญากับผู้รับจ้างใช้เวลา 3-6 เดือนจากเดือนตุลาคม ซึ่งอยู่ในช่วงเดือนมกราคม-มีนาคมของทุกปี พอดีเริ่มเข้าฤดูฝนเป็นอุปสรรคในการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานก่อสร้างที่ต้องดำเนินการในลำน้ำ เช่น ประตูระบายน้ำ ฝายน้ำล้น งานเรียงหินป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง งานขุดลอกลำน้ำ บึงและหนองน้ำ เป็นต้น) การคำนวณระยะเวลาก่อสร้างและค่าควบคุมงานในเนื้องานรวมระยะเวลาเตรียมการก่อสร้าง แต่ยังไม่รวมระยะเวลาทดสอบวัสดุและช่วงฤดูฝน

อัตราการทำงานของแรงงานต่อวัน

รายการ	จำนวนคนงานต่อชุด	อัตราการทำงาน $ม^3$/คน/วัน	อัตราการทำงาน $ม^3$/วัน	หมายเหตุ
งานคอนกรีตเสริมเหล็ก	15	0.5	7.5	
งานคอนกรีตดาดคลอง	15	0.25	3.75	
งานหินทิ้ง	10	4	40	
งานวางท่อ	10	10 ม./คน/วัน	100 ม./วัน	

1) ระยะเวลาการก่อสร้างโครงการอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ ประเภทงานชลประทาน

(1) เครื่องจักร ชุด ก. ปริมาณงานดินขุด ไม่เกิน 800,000 ลบ.ม.

ระยะเวลาก่อสร้าง = Max.{(งานดินขุด/2,100) หรือ (งานดินถม/2,100+งานคอนกรีต/7.5)} + งานหิน/40 + 15 วัน

(2) เครื่องจักร ชุด ข. ปริมาณงานดินขุด ไม่เกิน 1,500,000 ลบ.ม.

ระยะเวลาก่อสร้าง = Max.{(งานดินขุด/4,200) หรือ (งานดินถม/4,200+งานคอนกรีต/7.5)} + งานหิน/40 + 15 วัน

(3) เครื่องจักร ชุด ค. ปริมาณงานดินขุด เกินกว่า 1,500,000 ลบ.ม.

ระยะเวลาก่อสร้าง = Max.{(งานดินขุด/5,250) หรือ (งานดินถม/5,250+งานคอนกรีต/7.5)} + งานหิน/40 + 15 วัน

หมายเหตุ ระยะเวลาในการก่อสร้างของโครงการประมาณ 1 ปี

2) ระยะเวลาการก่อสร้างโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ ประเภทงานชลประทาน

(1) เครื่องจักร ชุด ก. ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว+หินผุ ไม่เกิน 200,000 ลบ.ม.

ระยะเวลาก่อสร้าง = Max.{(งานดินขุด/1,050) หรือ (งานดินถม/1,050) หรือ (งาน

คอนกรีต/15)} + งานหิน/40 + 15 วัน

(2) เครื่องจักร ชุด ข. ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว+หินผุ ไม่เกิน 350,000 ลบ.ม.
ระยะเวลาก่อสร้าง = Max.{(งานดินขุด/2,100) หรือ (งานดินถม/2,100) หรือ (งาน
คอนกรีต/30)} + งานหิน/40 + 30 วัน

(3) เครื่องจักร ชุด ค. ปริมาณงานดินขุดทิ้ง+ดินขุดเหลว+หินผุ เกินกว่า 350,000 ลบ.ม.
ระยะเวลาก่อสร้าง = Max.{(งานดินขุด/3,150) หรือ (งานดินถม/3,150) หรือ (งาน
คอนกรีต/30)} + งานหิน/40 + 30 วัน

(4) ระบบส่งน้ำ(คลอง/ท่อ)
ระยะเวลาก่อสร้าง = Max.{(งานดินขุด/1,050) หรือ (งานดินถม/1,400) หรือ (งาน
คอนกรีต/15)} + งานวางท่อ/100 + 15 วัน

หมายเหตุ กรณีที่ได้ระยะเวลาการก่อสร้างมากเกินไป สามารถลดระยะเวลาได้โดยการเพิ่มชุดเครื่องจักร(งานดินขุดและงานดินถม)หรือจำนวนชุดของคนงาน(งานคอนกรีต)

5.9 แนวทางการแบ่งงวดงาน

การแบ่งงวดงานไม่มีหลักเกณฑ์ตายตัวหรือชัดเจน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับรูปแบบและประเภทของโครงการ แต่จะกล่าวโดยสังเขปมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

◊ ค่าก่อสร้างในแต่ละงวดงาน โดยทั่วไปแล้วมูลค่างานแต่ละงวดควรจะอยู่ที่ประมาณ 1–2 ล้านบาท หรือมากกว่านั้น และแต่ละงวดงานควรหักออกประมาณงวดงานละ 1-5% เพื่อไปรวมในงวดงานสุดท้ายที่ผู้รับจ้างดำเนินการก่อสร้างโครงการแล้วเสร็จ

◊ การแบ่งงวดงาน ต้องคำนึงถึงลำดับและขั้นตอนของการก่อสร้างขององค์ประกอบของโครงการเป็นสำคัญ เพราะจะทำให้การเบิกเงินตามงวดงานสอดคล้องกับขั้นตอนการก่อสร้าง และไม่ทำให้ผู้รับจ้างประสบปัญหากับการเบิกเงินในแต่ละงวดงาน เนื่องด้วยอาจติดอุปสรรคในระหว่างการก่อสร้าง เช่น งานเขื่อนป้องกันตลิ่ง การเขียนงวดงานควรเริ่มลำดับตั้งแต่ขั้นตอนงานสำรวจภูมิประเทศ งานขุดเปิดหน้าดิน งานถมดินบดอัดแน่น งานปูแผ่นใยสังเคราะห์ งานหินทิ้งหรือหินเรียง งานทางเดิน งานราวกันตกและงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

◊ Material on Site ในบางโครงการอาจจำเป็นต้องมีการส่งมอบวัสดุก่อนทำการก่อสร้าง ดังนั้นเวลาทำการแบ่งงวดงานอาจให้มูลค่าของงวดงานนั้นเพียง 70% ของมูลค่างวดงานนั้นและอีก 30% จะนำไปเป็นงวดงานของขั้นตอนการก่อสร้าง

◊ หน่วยที่กำหนดในแต่ละงวดงาน จำเป็นต้องมีความสอดคล้องกับลักษณะของงานก่อสร้างและการส่งมอบงาน เช่น งานก่อสร้างชั้นดินถมบดอัดแน่น ปริมาณงานในราคางานต้นทุนระบุเป็น ลบ.ม. แต่เมื่อทำการเขียนงวดงานการก่อสร้างชั้นดินถมบดอัด โดยทั่วไประบุเป็นระดับที่ทำการก่อสร้างและความยาวที่แล้วเสร็จ เพราะในการตรวจสอบปริมาณการถมดินในสนามอาจมีตัวแปรอื่นๆที่ทำให้ไม่สอดคล้องกับปริมาณงานที่กำหนดเป็น ลบ.ม. เป็นต้น

◊ จำนวนวันก่อสร้าง ผู้ทำการกำหนดงวดงานต้องคำนึงถึงระยะเวลาการก่อสร้างให้สอดคล้องกับสภาพของพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างและรูปแบบที่ก่อสร้าง เพื่อให้ผู้รับจ้างสามารถทำงานได้ เช่น งานก่อสร้าง

เขื่อนป้องกันชายฝั่ง อาจต้องคำนึงถึงฤดูกาล/ช่วงเวลาที่สามารถทำการก่อสร้างได้และฤดูกาล/ช่วงเวลาที่ต้องหยุดทำการก่อสร้าง เป็นต้น

ทั้งนี้ผู้กำหนดงวดงานต้องมีความเข้าใจถึงลำดับ ขั้นตอนและวิธีการก่อสร้าง ซึ่งจะทำให้การกำหนดงวดงานได้สอดคล้องกับงานก่อสร้าง ทำให้ผู้รับจ้างสามารถทำงานและเบิกเงินได้ตามงวดงานที่ได้กำหนดไว้ โดยการเขียนงวดงานที่ดีนั้นต้องไม่ทำให้งวดงานใดงวดงานหนึ่งที่ผู้รับจ้างดำเนินการไม่ได้เนื่องจากติดอุปสรรคไปทำให้เบิกเงินค่างวดงานอื่นๆที่เหลืออยู่ไม่ได้

สำนักพัฒนาแหล่งน้ำได้จัดทำหลักเกณฑ์มาตรฐานการคำนวณราคากลางโครงการพัฒนาแหล่งน้ำของกรมทรัพยากรน้ำ ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

1) ลักษณะงาน ขอบเขตงานและการคำนวณปริมาณงาน
2) หลักเกณฑ์การคำนวณราคางานต้นทุนต่อหน่วย
3) การคำนวณ Factor F
4) การคำนวณระยะเวลาการก่อสร้าง

รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาได้จากหลักเกณฑ์มาตรฐานการคำนวณราคากลางโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ ของกรมทรัพยากรน้ำ

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาและการหาปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำนองสูงสุดของ 25 ลุ่มน้ำ

ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาและการหาปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำนองสูงสุดของ 25 ลุ่มน้ำ

1) ลุ่มน้ำสาละวิน

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.9 – 19.9	25.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	98.8 – 70.5	90.3
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	1.19 – 0.18	0.59
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	910.7 – 892.8	901.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำสาละวิน ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,064.0 มิลลิเมตร จนถึง 2,096.4 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,352.6 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,257.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 93.0 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 95.2 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 7.0 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำสาละวิน ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	42.3	170.2	214.8	258.7	298.3	210.5	104.9	24.3	7.2	5.3	5.0	11.1	1,352.6	1,257.4	95.2
สูงสุด 2537	53.8	201.8	302.8	550.2	430.0	153.4	117.4	9.7	2.1	0.0	0.0	6.8	1,828.0	1,755.6	72.4
ต่ำสุด 2541	6.0	148.3	118.2	204.9	168.7	132.5	26.9	24.3	4.6	3.6	23.0	15.1	876.1	799.5	76.6

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำสาละวิน มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 19,106 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 8,656.4 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 6,627.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 76.6 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 2,028.5 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 23.4 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำสาละวิน ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย :ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2525-2551	153.3	268.2	429.9	824.6	1,736.9	2,123.2	1,245.2	759.0	429.5	306.4	203.9	176.5	8,656.4	6,627.9	2,028.5
สูงสุด 2549	382.8	443.2	575.6	1,721.8	3,104.4	3,623.7	2,075.4	826.5	487.0	373.0	279.1	259.9	14,152.2	11,544.0	2,608.2
ต่ำสุด 2541	92.5	106.5	122.1	256.6	701.0	1,068.4	337.3	230.0	105.0	102.2	86.0	83.4	3,290.9	2,591.8	699.2

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำสาละวิน ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.4325\ A^{1.0065} \qquad R^2 = 0.948$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำสาละวินซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 0.5949\ A^{0.8242} \qquad R^2 = 0.9429$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	1.2	1.9	2.6	3.5	4.2	4.8	5.5	6.4	7.0

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

2) ลุ่มน้ำโขง

(ก) ลุ่มน้ำโขงเหนือ

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	31.5 – 18.5	24.7
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	97.8 – 78.0	87.4
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.21 – 0.54	1.88
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,154.0 – 920.6	1,030.6

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

จากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 745.6 มิลลิเมตร จนถึง 2,135.9 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,354.5 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,192.5 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.0 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 162.0 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 12.0 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำโขง (เหนือ)

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	81.9	213.6	252.1	267.6	342.5	262.0	88.5	16.6	5.7	6.6	15.3	35.3	1,587.7	1,426.3	161.4
สูงสุด 2513	80.9	291.3	393.4	219.2	476.5	322.9	44.6	6.0	24.4	3.0	17.7	17.5	1,897.4	1,747.9	149.5
ต่ำสุด 2526	48.2	135.3	205.3	221.1	337.9	218.9	126.5	20.6	7.0	0.4	10.7	12.7	1,344.6	1,245.0	99.6

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำโขง (เหนือ) มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 10,034 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 3,480.2 ล้านลูกบาศก์เมตร โดย

เป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 3,065.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 415.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 12.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำโขง (เหนือ)

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2527-2551	15.7	87.3	115.3	316.5	858.3	1,086.2	601.5	252.2	80.0	33.8	17.8	15.5	3,480.2	3,065.1	415.1
สูงสุด 2537	14.2	97.2	449.0	800.6	2,263.2	2,196.9	749.7	156.8	106.8	41.9	16.6	9.3	6,902.2	6,556.6	345.6
ต่ำสุด 2536	6.1	10.5	16.4	423.4	220.7	520.8	323.8	197.0	42.6	17.5	8.5	2.7	1,790.0	1,515.5	274.4

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง (เหนือ) ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.6537\ A^{0.912} \qquad R^2 = 0.792$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง(เหนือ) ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 1.9366\ A^{0.5835} \qquad R^2=0.6705$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.95	1.77	2.35	3.08	3.62	4.16	4.69	5.40	5.93

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(ข) ลุ่มน้ำโขงอีสาน

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	31.0 – 16.7	25.7
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	99.0 – 83.9	92.7
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	4.38 – 0.10	1.41
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,183.3 – 980.3	1,099.3

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำโขง อีสาน ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 632.9 มิลลิเมตร จนถึง 2,494.8 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,530.5 มิลลิเมตร เป็น

ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,392.1 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 91.0 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 138.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 9.0 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำโขงอีสาน ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	75.7	205.4	257.0	254.4	330.8	263.3	81.3	10.8	2.1	3.9	13.5	32.4	1,530.5	1,392.1	138.4
สูงสุด 2551	86.6	264.0	656.2	579.3	443.9	288.3	97.7	37.0	0.0	0.1	6.3	35.4	2,494.8	2,329.4	165.4
ต่ำสุด 2560	48.1	43.0	87.0	101.7	73.9	120.8	135.1	2.5	0.4	1.0	0.3	19.1	632.9	561.5	71.4

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำโขงอีสาน มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 47,154 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 20,763.0 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 19,111.0 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 92.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 1,652.0 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 8.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำโขงอีสาน

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำโขงอีสานหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2527-2551	224.9	785.3	1,977.9	2,815.0	4,838.3	6,388.3	2,306.1	462.5	207.1	226.4	242.5	288.8	20,763.0	19,111.0	1,652.0
สูงสุด 2543	47.4	4,346.0	5,769.6	9,265.2	6,064.3	8,214.9	2,249.9	306.4	80.8	61.5	46.2	33.18	36,485.3	35,909.9	575.5
ต่ำสุด 2531	32.6	134.6	2,431.0	1,763.2	3,644.8	2,330.5	1,223.2	211.5	59.5	44.7	32.6	32.4	11,940.7	11,527.3	413.3

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงอีสาน ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.9024\ A^{0.9052} \qquad R^2 = 0.845$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย–ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน–ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำโขงอีสานซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 14.576\ A^{0.3879} \qquad R^2 = 0.4069$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	1.00	1.90	2.60	3.50	4.10	4.80	5.40	6.20	6.90

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

3) ลุ่มน้ำกก

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	30.9 – 18.5	25.2
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	97.8 – 61.9	90.0
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.59 – 0.59	1.49
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,154.8 – 839.6	1,070.3

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำกกได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,086.9 มิลลิเมตร จนถึง 2,507.6 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,490.1 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,323.9 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.8 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 166.2 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.2 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำกก

สถิติปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	67.5	195.7	186.3	256.9	313.1	247.1	124.8	43.3	17.6	11.6	7.7	18.5	1,490.1	1,323.9	166.2
สูงสุด 2520	113.7	198.8	79.3	344.5	280.4	389.7	288.6	19.8	31.5	85.9	55.0	0.0	1,887.2	1,581.3	305.9
ต่ำสุด 2535	32.4	38.6	90.5	318.3	194.4	173.5	140.0	69.4	66.5	0.1	0.0	12.9	1,136.6	955.3	181.3

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้จากสถานีวัดน้ำท่าสรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำกก มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 7,300 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 3,192.7 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 2,369.0 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 74.2 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 823.6 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 25.8 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำกก

สถิติปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2501-2551	58.2	82.0	148.8	313.7	654.4	698.5	471.6	299.6	190.9	130.9	80.5	63.5	3,192.6	2,369.0	823.6
สูงสุด 2514	74.5	121.1	195.0	790.3	1,207.9	1,031.1	650.1	355.6	244.8	187.9	132.7	113.1	5,104.1	3,995.5	1,108.6
ต่ำสุด 2522	40.8	69.0	125.9	144.0	460.5	404.1	283.6	123.6	81.2	48.8	29.5	14.9	1,825.9	1,487.1	338.8

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำกก ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.7187\ A^{0.9350} \qquad R^2 = 0.930$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำกกซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนสมการ

$Q_f = 0.6336\ A^{0.7755}$ $R^2 = 0.9604$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	1.68	2.21	2.88	3.38	3.88	4.37	5.02	5.51

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

4) ลุ่มน้ำชี

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	30.9 – 18.9	26.9
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	94.9 – 74.5	85.9
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.11 – 0.84	1.69
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,304.8 – 766.9	1,151.4

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำชี ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 828.4 มิลลิเมตร จนถึง 1,830.7 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,207.9 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,070.3 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.6 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 137.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.4 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี)และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ

สถิติปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	70.5	167.8	171.0	168.6	216.6	251.2	95.1	12.6	2.9	3.5	13.5	34.6	1,207.9	1,070.3	137.6
สูงสุด 2551	151.4	170.1	172.5	210.1	294.3	376.0	122.8	62.2	3.6	0.0	4.6	48.8	1,616.4	1,345.8	270.6
ต่ำสุด 2540	80.0	96.4	135.8	183.5	178.2	136.5	103.9	7.6	0.0	0.3	35.5	19.9	977.6	834.3	143.3

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำชี มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 49,130 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 11,159.4 ล้าน

ลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 8,724.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 78.2 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 2,435.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 21.8 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำชี

สถิติปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2517-2551	228.8	339.1	612.3	999.5	1,622.4	2,603.0	2,548.0	1,313.0	380.4	169.5	157.1	186.3	11,159.4	8,724.3	2,435.1
สูงสุด 2543	434.4	1,372.3	2,272.3	4,606.3	4,105.2	4,297.2	3,675.0	1,637.7	241.6	173.5	141.2	276.6	23,233.3	20,328.3	2,905.0
ต่ำสุด 2536	173.8	112.4	227.0	336.4	324.7	1,180.8	567.9	136.7	50.73	16.18	6.33	7.91	3,140.9	2,749.2	391.6

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำชีได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 1.0031\ A^{0.8131} \qquad R^2 = 0.956$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมานน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำชีซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 3.7183\ A^{0.525} \qquad R^2 = 0.8608$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	2.06	2.89	3.94	4.72	5.49	6.26	7.28	8.04

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

5) ลุ่มน้ำมูล

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	32.3 – 19.0	26.9
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	96.4 – 53.4	84.7
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.40 – 0.54	1.79
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,692.3 – 926.8	1,172.1

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำมูล ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ โดยนำข้อมูลน้ำฝนรายปีเฉลี่ย มาสร้างแผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 916.4 มิลลิเมตร จนถึง 1,757.8 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,268.0 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,119.9 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 148.1 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำมูล

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	74.1	170.0	171.3	180.8	216.1	261.7	120.0	21.6	1.8	3.2	12.6	34.8	1,268.0	1,119.9	148.1
สูงสุด 2543	162.0	266.5	257.8	231.4	313.9	186.4	100.5	2.1	0.0	7.8	6.2	73.4	1,608.0	1,356.5	251.5
ต่ำสุด 2516	35.3	150.8	129.5	191.6	169.1	247.5	71.4	5.4	0.0	9.2	14.6	41.1	1,065.5	955.9	105.6

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำมูล มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 71,072 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 17,117.7 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 13,597.4 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 79.4 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 3,520.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 20.6 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำมูล ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	146.4	298.6	768.8	1,345.8	2,306.4	3,991.8	4,886.0	2,346.0	613.8	171.8	115.2	127.0	17,117.7	13,597.4	3,520.3
สูงสุด 2543	278.1	1,355.8	3,434.9	7,164.8	6,253.2	9,318.5	5,550.4	2,367.0	690.4	159.0	107.5	168.8	36,848.6	33,077.8	3,770.8
ต่ำสุด 2541	29.6	68.5	401.5	577.3	580.3	1,262.7	726.3	368.8	278.8	27.5	16.7	14.0	4,352.1	3,616.7	735.4

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 1.3830\ A^{0.7777} \qquad R^2 = 0.893$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 4.022A^{0.509} \qquad R^2=0.6578$$

เมื่อ Qp = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.95	2.28	3.25	4.48	5.39	6.30	7.20	8.39	9.30

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

6) ลุ่มน้ำปิง

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้นและอัตราการระเหย ดังแสดงไว้ในตาราง

ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	34.6-17.6	25.5
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	96.0-61.9	87.8
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.91-0.33	1.21
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,111.0-839.6	995.1

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำปิง ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 878.0 มิลลิเมตร จนถึง 1,793.2 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,087.3 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) ประมาณ 960.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-เมษายน) ประมาณ 126.7 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำปิง

ข้อมูลการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	49.0	160.1	127.0	138.5	186.8	217.6	130.6	38.5	10.1	6.3	6.6	16.2	1,087.3	960.6	126.7
สูงสุด 2545	34.5	213.8	115.1	77.2	220.5	339.0	120.2	165.3	47.8	11.3	3.7	28.5	1,376.9	1,085.8	291.1
ต่ำสุด 2540	58.1	60.5	30.1	152.6	185.1	185.7	111.9	11.7	0.0	3.7	0.3	6.2	805.9	725.9	80.0

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำปิง มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 34,499 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 9,553.7 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 7,265.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 76.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 2,288.7 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 24.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) คิดเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยพื้นที่หรือค่าการให้น้ำจำเพาะของทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 6.67 ลิตรต่อวินาทีต่อตารางกิโลเมตร สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำปิง

ข้อมูลการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	181.9	455.7	652.2	791.8	1,735.1	2,240.7	1,389.6	936.0	590.5	289.2	151.7	139.3	9,553.7	7,265.1	2,288.7
สูงสุด 2516	39.8	529.3	1,190.9	2,065.5	6,337.8	6,420.0	3,124.9	1,543.6	1,151.1	543.7	198.6	138.0	23,283.3	19,668.4	3,614.8
ต่ำสุด 2541	301.0	289.0	134.4	235.1	427.0	670.1	142.8	180.5	91.2	39.1	67.7	92.0	2,669.8	1,898.4	771.5

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

Q_m $=0.7549\ A^{0.8677}$ $R^2 = 0.981$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 2.3068\ A^{0.6018}$ $R^2 = 0.9013$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย–ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน–ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.97	2.16	3.06	4.19	5.03	5.87	6.70	7.80	8.63

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

7) ลุ่มน้ำวัง

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	30.7 – 18.1	25.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	95.5 – 86.1	91.6
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	1.75 – 0.38	1.01
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,154.8 – 998.5	1,076.6

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำวัง ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,003.5 มิลลิเมตร จนถึง 1,301.7 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,061.2 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม) ประมาณ 934.8 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.1 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 126.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.9 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำวัง

สถิติปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	58.3	166.9	123.2	130.6	181.7	216.8	115.6	29.0	6.9	5.5	6.9	19.8	1,061.2	934.8	126.4
สูงสุด 2549	155.1	295.1	141.0	158.9	227.6	285.9	113.2	1.4	0.2	0.0	1.0	17.5	1,396.9	1,221.7	175.2
ต่ำสุด 2501	51.7	103.7	148.2	77.6	176.6	141.1	91.9	3.3	0.0	0.8	0.0	6.6	801.5	739.1	62.4

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำวัง มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 10,794 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 1,780.4 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 1,507.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 84.7 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 273.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 15.3 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำวัง

สถิติปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2510-2551	16.2	68.1	95.0	101.1	291.8	599.0	352.2	149.4	49.4	28.4	15.4	14.4	1,780.4	1,507.2	273.2
สูงสุด 2510	29.0	50.0	102.6	168.1	909.0	1,751.1	677.4	212.9	110.8	77.0	49.7	46.2	4,183.9	3,658.2	525.8
ต่ำสุด 2550	0.6	82.6	1.4	1.5	1.7	2.6	2.0	1.2	0.4	0.5	0.4	0.4	95.1	91.7	3.4

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำวัง ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$Q_m = 0.2986\ A^{0.9205}$ $R^2 = 0.962$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำวังซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 12.066\ A^{0.4131}$ $R^2 = 0.6385$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบล ได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Qt/Qf	0.96	1.88	2.56	3.41	4.05	4.68	5.32	6.15	6.78

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

8) ลุ่มน้ำยม

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	30.0 – 20.7	25.9
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	96.6 – 89.5	94.7
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.79 – 0.29	1.14
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,249.5 – 955.4	1,081.5

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำยม ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 949.7 มิลลิเมตร จนถึง 1,609.9 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,184.5 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,058.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 89.4 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 125.9 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 10.6 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำยม ดังนี้

สถิติปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495 - 2551	59.8	177.2	142.9	160.7	220.3	238.0	119.5	23.2	5.1	5.9	8.6	23.3	1,184.5	1,058.6	125.9
สูงสุด 2549	103.1	336.7	174.6	229.1	311.6	305.3	136.9	1.6	0.0	0.0	1.3	6.6	1,606.8	1,494.2	112.6
ต่ำสุด 2546	23.9	95.4	183.8	180.3	154.1	233.7	36.1	0.0	0.9	2.5	5.9	2.7	919.3	883.4	35.9

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำยม มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 23,948 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 4,720.7 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 4,203.6 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 89.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 517.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำยม ดังนี้

สถิติปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2522-2551	54.0	216.9	190.3	364.9	1,181.5	1,606.9	643.0	249.6	93.6	43.8	30.9	45.3	4,720.7	4,203.6	517.1
สูงสุด 2538	66.0	190.2	53.3	162.5	3,664.0	3,536.8	1,212.3	728.1	235.1	124.2	88.0	74.2	10,134.8	8,819.2	1,315.6
ต่ำสุด 2536	37.0	81.0	78.2	251.4	105.8	649.1	208.3	97.1	33.3	17.8	10.2	55.0	1,624.0	1,373.7	250.3

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำยม ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.2143\ A^{0.9898} \qquad R^2 = 0.978$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำยมซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 5.5005\ A^{0.5268}$ $R^2 = 0.7369$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Qt/Qf	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
สูงสุด	0.95	2.26	3.21	4.42	5.31	6.20	7.08	8.25	9.13

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

9) ลุ่มน้ำน่าน

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	34.0 – 17.9	27.5
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	96.5 – 63.6	88.4
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.48 – 0.04	1.26
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,280.6 – 927.8	1,078.2

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำน่าน ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,016.0 มิลลิเมตร จนถึง 1,737.9 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,277.6 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,132.5 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.6 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 145.1 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.4 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ

สถิติปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	69.9	179.6	166.5	188.2	246.0	247.8	104.4	20.3	5.1	6.5	13.2	30.1	1,277.6	1,132.5	145.1
สูงสุด 2538	53.5	178.5	158.8	294.1	408.2	235.4	109.9	54.4	0.5	0.1	48.1	31.0	1,572.5	1,384.9	187.6
ต่ำสุด 2522	64.3	139.1	259.9	102.6	202.3	185.4	44.0	0.0	0.0	0.0	5.1	30.4	1,033.1	933.3	99.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำน่าน มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 34,908.11 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 12,040.6 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 10,753.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 89.3 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 1,287.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 10.7 ของปริมาณน้ำทั้งปี)และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำน่าน ดังนี้

สถิติปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	120.1	308.3	713.7	1,999.2	3,630.9	2,900.0	1,201.2	500.5	280.8	176.1	112.1	97.7	12,040.6	10,753.2	1,287.3
สูงสุด 2538	151.6	179.8	506.1	3,109.0	8,774.0	5,696.7	1,897.6	1,089.4	496.4	283.7	173.0	119.8	22,477.0	20,163.2	2,313.8
ต่ำสุด 2517	78.5	247.8	408.6	490.4	1,910.3	1,332.9	555.0	264.6	153.2	103.8	58.7	59.1	5,663.0	4,945.0	718.0

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 1.5298\ A^{0.8576} \qquad R^2 = 0.964$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (ล้านลูกบาศก์เมตร)

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (ตารางกิโลเมตร)

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 5.228\ A^{0.558} \qquad R^2 = 0.8425$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย-ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน-ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.98	2.04	2.82	3.81	4.54	5.26	5.99	6.94	7.66

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

10) ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำเจ้า

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	31.4 – 23.6	28.2
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	94.5 – 71.5	79.9
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.39 – 0.30	1.49
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,282.9 – 984.6	1,188.9

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 938.7 มิลลิเมตร จนถึง 1,534.1 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,140.8 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 995.8 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 87.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 145.0 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 12.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำเจ้าพระยา

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	60.6	146.7	129.4	138.3	160.6	256.4	164.4	32.0	5.5	6.3	13.8	26.8	1,140.8	995.8	145.0
สูงสุด 2513	128.1	217.9	176.3	160.2	197.4	332.8	160.2	35.0	0.5	8.4	6.0	78.1	1,500.9	1,244.8	256.1
ต่ำสุด 2526	27.1	90.4	121.2	126.0	114.3	174.4	34.3	2.3	0.2	2.8	3.3	37.3	733.6	660.6	73.0

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 20,267 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 3,786.0 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 2,553.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 67.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 1,232.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 32.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) โดยได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำเจ้าพระยา

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2527-2551	151.6	185.9	226.9	246.2	383.9	654.9	856.1	470.1	208.9	117.6	125.4	158.6	3,786.0	2,553.9	1,232.1
สูงสุด 2543	129.1	260.2	472.5	479.5	447.5	988.0	2,160.8	942.2	251.8	226.1	214.9	220.2	6,793.0	4,808.5	1,984.4
ต่ำสุด 2531	141.5	144.5	173.3	113.8	162.7	315.8	237.6	148.5	113.8	47.4	55.9	72.1	1,726.6	1,147.6	579.0

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.3387\ A^{0.9366} \qquad R^2 = 0.972$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 5.7095\ A^{0.5014} \qquad R^2 = 0.8348$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.93	2.49	3.62	5.03	6.08	7.12	8.16	9.53	10.57

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

11) ลุ่มน้ำสะแกกรัง

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจ โดยชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	30.6 – 21.7	27.1
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	95.6 – 67.1	82.4
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.87 – 0.16	1.46
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,461.1 – 1,018.8	1,224.8

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำสะแกกรัง ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทานและกรมป่าไม้ โดยนำข้อมูลน้ำฝนรายปีเฉลี่ย มาสร้างแผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ดังรูปที่ 2-2 พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,116.2 มิลลิเมตร จนถึง 1,317.4 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,199.3 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,033.2 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 86.2 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน–เมษายน) ประมาณ 166.1 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.8 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	64.5	159.2	135.5	135.5	168.5	266.1	168.4	37.3	3.8	7.3	16.5	36.7	1,199.3	1,033.2	166.1
สูงสุด 2507	92.8	253.0	147.7	337.9	83.5	399.3	157.2	23.4	14.8	0.0	50.0	73.9	1,633.5	1,378.6	254.9
ต่ำสุด 2534	54.1	144.7	57.6	29.8	155.3	161.9	206.4	0.0	7.0	4.8	4.8	0.0	826.4	755.7	70.7

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรัง มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 5,056 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 1,294.5 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 977.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 75.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 316.6 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 24.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย: ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2518-2551	7.4	57.4	94.5	52.8	62.5	283.8	427.0	207.4	45.4	28.1	18.0	10.4	1,294.5	977.9	316.6
สูงสุด 2526	2.6	4.8	26.8	14.9	129.2	407.3	1,235.2	829.1	102.4	37.8	18.9	12.7	2,822.3	1,818.2	1,003.6
ต่ำสุด 2525	7.5	23.7	48.8	27.2	42.6	115.6	238.6	68.5	27.7	16.7	6.2	4.4	627.5	496.5	130.9

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรัง ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 1.0029\ A^{0.8105} \qquad R^2 = 0.884$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำสะแกกรัง ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 5.7095\ A^{0.5014} \qquad R^2 = 0.8348$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.91	1.90	2.60	3.48	4.12	4.79	5.44	6.30	6.95

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

12) ลุ่มน้ำป่าสัก

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.9 – 19.9	25.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	98.8 – 70.5	90.3
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	1.19 – 0.18	0.59
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	910.7 – 892.8	901.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำป่าสัก ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,012.1 มิลลิเมตร จนถึง 1,611.5 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,210.2 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,044.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 86.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 165.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) โดยสรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำป่าสัก

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยของลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	72.6	152.2	151.1	159.8	198.3	255.9	127.3	25.4	5.3	5.7	16.1	40.5	1,210.2	1,044.6	165.6
สูงสุด 2499	108.1	279.5	225.5	220.4	256.2	273.8	128.4	19.0	1.4	10.1	20.1	98.2	1,640.7	1,383.8	256.9
ต่ำสุด 2547	67.5	123.2	124.4	143.9	134.2	175.2	17.2	0.6	0.0	1.4	0.7	29.5	817.8	718.1	99.7

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 15,623 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 3,321.0 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็น

ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 2,680.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 80.7 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 640.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 19.3 ของปริมาณน้ำทั้งปี) โดยได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำป่าสัก

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2509-2551	75.1	136.9	225.4	269.9	586.7	993.7	468.4	177.3	144.1	90.4	74.6	78.6	3,321.0	2,680.9	640.1
สูงสุด 2521	138.1	207.1	174.4	801.5	1,057.6	1,319.2	918.4	229.1	220.4	136.9	161.0	193.4	5,557.1	4,478.2	1,078.9
ต่ำสุด 2541	0.4	20.5	63.5	315.4	512.1	350.8	96.6	30.9	14.8	0.4	0.4	0.3	1,406.3	1,359.0	47.3

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.8006\ A^{0.8369} \qquad R^2 = 0.963$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 6.9808\ A^{0.4705} \qquad R^2=0.8382$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	1.94	2.66	3.56	4.24	4.90	5.57	6.45	7.11

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

13) ลุ่มน้ำท่าจีน

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	31.1 – 23.9	27.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	95.3 – 68.3	83.1
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.80 – 0.52	1.53
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,323.5 – 1,069.7	1,196.6

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำท่าจีน ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 867.3

มิลลิเมตร จนถึง 1,418.5 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,046.0 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 906.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 86.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 139.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำท่าจีน ดังนี้

สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	51.8	129.2	103.6	115.1	129.0	238.5	191.0	39.9	6.2	5.3	11.2	25.2	1,046.0	906.4	139.6
สูงสุด 2526	4.0	101.5	109.2	162.9	259.9	286.3	343.4	181.3	11.7	3.4	13.0	18.0	1,494.6	1,263.2	231.4
ต่ำสุด 2522	50.1	72.6	102.5	91.1	66.2	240.0	33.9	5.2	0.0	0.0	5.8	13.0	680.4	606.3	74.1

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 13,492 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 3,891.2 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 3,204.8 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 82.4 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 686.4 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 17.6 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำท่าจีน ดังนี้

สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2527-2551	54.0	183.8	142.8	132.4	254.8	775.8	1,715.3	424.2	112.1	47.0	25.0	24.0	3,891.2	3,204.8	686.4
สูงสุด 2531	19.0	504.3	190.8	529.6	748.7	4,397.8	5,869.2	712.4	288.5	170.1	140.4	125.4	13,695.9	12,240.4	1,455.8
ต่ำสุด 2529	6.3	826.8	109.4	18.0	42.4	133.4	406.9	154.8	90.7	32.7	6.3	6.3	1,833.7	1,536.9	297.2

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.2229\ A^{1.0283} \qquad R^2 = 0.670$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำท่าจีน ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Qp = 5.7095\ A^{0.5014} \qquad R^2 = 0.8348$$

เมื่อ Qp = ปริมาณน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	2.15	3.02	4.12	4.94	5.75	6.56	7.63	8.43

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

14) ลุ่มน้ำแม่กลอง

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศของกรมชลประทานโดยสรุปข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศความชื้นสัมพัทธ์ความเร็วลมผิวพื้น และปริมาณการระเหยจากถาดสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง ได้ดังนี้

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญในลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปีเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยรายปี
อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	22.1 – 31.5	27.4
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	59.0 – 96.6	84.9
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตร/ชั่วโมง	0.26 – 3.53	1.67
ปริมาณการระเหยจากถาด	มิลลิเมตร	1,052.7 – 1,441.1	1,213.4

(ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553))

(2) ปริมาณฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำแม่กลอง ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 922.9 มิลลิเมตร จนถึง 2,316.9 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,292.5 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม–ตุลาคม) ประมาณ 1,128.1 มิลลิเมตร(คิดเป็นร้อยละ 87.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน–เมษายน) ประมาณ 164.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 12.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำแม่กลอง ดังนี้

การผันแปรของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ทั้งปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	63.6	163.8	155.5	180.5	197.4	230.0	200.9	50.0	5.5	4.5	12.0	28.8	1,292.5	1,128.1	164.4
สูงสุด 2515	130.6	246.5	160.9	177.4	234.1	256.7	313.7	49.7	2.3	36.7	8.8	52.5	1,669.9	1,389.3	280.6
ต่ำสุด 2523	46.5	87.7	196.4	162.8	159.1	239.4	84.8	4.9	0.5	0.0	4.7	23.7	1,010.5	930.2	80.3

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 30,180.7 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 6,543.7 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 5,019.6 ล้านลูกบาศก์เมตร(คิดเป็นร้อยละ 76.7 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 1,524.1 ล้านลูกบาศก์เมตร(คิดเป็นร้อยละ 23.3 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำแม่กลอง ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ทั้งปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2508-2551	173.1	227.5	488.3	757.6	1,367.7	1,190.4	988.1	484.0	304.1	231.2	155.5	176.3	6,543.7	5,019.6	1,524.1
สูงสุด 2515	95.8	98.5	593.6	2,781.7	2,496.1	2,440.3	1,724.1	852.1	551.6	275.7	152.1	136.7	12,198.1	10,134.3	2,064.0
ต่ำสุด 2523	71.3	71.7	68.4	160.0	307.9	669.4	470.0	153.3	112.8	79.7	118.4	110.4	2,393.3	1,747.5	645.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$Q_m = 0.2254\ A^{1.0492}$ $R^2 = 0.864$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 2.6219\ A^{0.6319}$, $R^2 = 0.7168$

เมื่อQp = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธี กัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	2.71	4.01	5.66	6.88	8.09	9.30	10.89	12.09

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

15) ลุ่มน้ำปราจีนบุรี

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	30.8 – 24.1	27.7
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	97.6 – 72.9	91.2
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	5.18 – 0.30	1.30
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,234.6 – 997.1	1,153.1

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำปราจีนบุรี ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,247.1 มิลลิเมตร จนถึง 2,301.0 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,657.4 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,464.1 มิลลิเมตร (คิดเป็น

ร้อยละ 88.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 193.3 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำปราจีนบุรี ดังนี้

สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	85.9	197.1	226.2	261.0	296.6	317.0	166.2	30.5	4.7	6.8	21.2	44.2	1,657.4	1,464.1	193.3
สูงสุด 2509	65.0	469.2	217.2	302.2	455.1	363.0	212.2	23.4	44.6	31.8	6.8	1.2	2,191.7	2,018.9	172.8
ต่ำสุด 2547	68.6	121.5	196.0	220.3	268.4	206.1	61.8	2.4	0.0	1.0	3.4	41.5	1,191.0	1,074.1	116.9

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 9,672 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 4,551.9 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 4,202.7 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 92.3 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 349.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 7.7 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำปราจีนบุรี ดังนี้

สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2510-2551	17.1	96.5	234.7	532.2	921.4	1,290.6	1,127.4	231.8	61.2	18.4	9.8	10.9	4,551.9	4,202.7	349.2
สูงสุด 2543	162.4	321.2	878.8	1,205.9	771.4	1,611.1	1,627.4	260.8	40.1	10.2	5.6	8.8	6,903.7	6,415.8	487.9
ต่ำสุด 2544	10.4	73.6	54.6	141.6	695.5	588.6	331.8	46.9	28.7	7.2	3.8	1.2	1,983.9	1,885.7	98.2

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 1.7476\ A^{0.8317} \qquad R^2 = 0.914$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 10.138\ A^{0.4431} \qquad R^2 = 0.8065$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.95	2.52	3.71	5.22	6.34	7.45	8.55	10.01	11.11

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

16) ลุ่มน้ำบางปะกง

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.4 – 22.9	26.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	97.0 – 63.3	88.4
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.6 – 0.30	1.64
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,271.1 – 893.9	1,116.1

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำบางปะกง ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,054.4 มิลลิเมตร จนถึง 1,873.3 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,279.9 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,102.5 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 86.1 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 177.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.9 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำบางปะกง ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	75.9	155.7	152.4	162.5	193.1	264.2	174.6	33.0	6.3	7.6	18.8	35.8	1,279.9	1,102.5	177.4
สูงสุด 2500	85.1	50.0	136.3	243.5	304.9	422.1	365.5	61.7	13.4	2.6	20.0	15.1	1,720.2	1,522.3	197.9
ต่ำสุด 2540	75.1	72.4	57.7	64.2	96.6	257.7	124.6	21.7	0.0	5.3	18.9	20.5	814.7	673.2	141.5

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารจัดการน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 10,701 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 3,568.0 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 3,194.8 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 89.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 373.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 10.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำบางปะกง ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2509-2551	64.7	204.1	268.9	303.6	483.2	873.6	1,061.4	184.6	56.7	26.0	21.6	19.8	3,568.0	3,194.8	373.2
สูงสุด 2517	86.3	156.3	87.5	184.3	516.1	912.7	5,657.1	778.7	78.2	28.3	54.2	16.6	8,556.3	7,514.0	1,042.3
ต่ำสุด 2528	22.2	168.0	30.3	15.2	42.3	163.6	133.6	36.7	5.5	2.9	1.2	1.5	623.0	553.0	70.0

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

Q_m = $6.5469\ A^{0.6285}$ $R^2 = 0.3098$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 19.366\ A^{0.3700}$ $R^2 = 0.5819$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	1.77	2.36	3.11	3.66	4.22	4.76	5.49	6.03

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

17) ลุ่มน้ำโตนเลสาบ

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.4 – 21.2	26.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	98.4 – 63.3	90.4
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	4.35 – 0.11	1.48
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,297.2 – 912.1	1,098.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำโตนเลสาบ ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 956.1 มิลลิเมตร จนถึง 1,953.0 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,497.4 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,292.0 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 86.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 205.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำโตนเลสาบ

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	85.2	176.0	199.0	218.6	238.9	270.5	189.0	39.8	6.7	6.5	20.9	46.3	1,497.4	1,292.0	205.4
สูงสุด 2504	77.3	494.6	327.9	476.3	569.3	356.7	311.7	34.1	0.0	0.2	9.4	32.2	2,689.7	2,536.5	153.2
ต่ำสุด 2535	23.5	86.4	134.4	153.7	180.2	84.3	180.0	0.3	47.1	4.2	1.6	74.9	970.6	819.0	151.6

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำโตนเลสาบมีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 4,086 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 1,605.9 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 1,316.4 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 82.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้งประมาณ 289.5 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 18.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) โดยได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำโตนเลสาบ

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2527-2551	27.3	52.2	216.7	153.0	246.4	319.2	329.0	111.1	63.1	40.7	25.5	21.9	1,605.9	1,316.4	289.5
สูงสุด 2545	80.1	260.4	2,275.4	249.4	268.9	158.4	114.1	92.2	57.7	37.0	27.9	26.7	3,648.2	3,326.6	321.6
ต่ำสุด 2535	1.2	9.7	24.3	56.4	317.4	151.1	208.8	110.5	23.7	14.6	1.2	10.3	929.2	767.7	161.5

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำโตนเลสาบ ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 3.8063\ A^{0.6862} \qquad R^2 = 0.8108$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำโตนเลสาบ ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 4.664\ A^{0.5408} \qquad R^2 = 0.5529$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A= ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	1.86	2.51	3.34	3.95	4.56	5.17	5.97	6.58

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

18) ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.3 – 21.2	26.9
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	98.4 – 78.8	92.4
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	4.35 – 0.11	1.32
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,323.4 – 930.2	1,082.4

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ โดยนำข้อมูลน้ำฝนรายปีเฉลี่ย มาสร้างแผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ย ดังรูปที่ 2-2 พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,187.3 มิลลิเมตร จนถึง 4,708.6 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 2,267.3 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 1,979.7 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 87.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง(พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 287.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 12.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
104.3	270.7	347.9	343.4	368.5	386.6	262.6	58.1	9.9	19.2	35.0	61.1	2,267.3	1,979.7	287.6

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 13,093 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 7,274.4 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 6,278.2 ล้านลูกบาศก์เมตร(คิดเป็นร้อยละ 86.3 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 996.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.7 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
106.3	382.7	620.5	815.2	883.0	1,827.3	1,749.4	423.3	177.3	92.5	106.1	90.7	7,274.4	6,278.2	996.2

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$Q_m = 2.6818\ A^{0.7971}$ $R^2 = 0.740$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออกซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 4.664\ A^{0.5408}$ $R^2 = 0.5529$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Qt/Qf	0.96	1.86	2.51	3.34	3.95	4.56	5.17	5.97	6.58

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

19) ลุ่มน้ำเพชรบุรี

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.7 – 24.1	27.6
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	95.8 – 71.6	85.5
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.64 – 0.44	1.68
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,280.4 – 1,040.0	1,178.7

ที่มา: สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 816.2 มิลลิเมตร จนถึง 1,131.9 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 966.7 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 786.1 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 81.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 180.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 18.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำเพชรบุรี

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	37.0	119.9	85.8	97.4	103.9	154.4	224.7	92.7	9.4	7.8	10.3	23.4	966.7	786.1	180.6
สูงสุด 2512	55.1	121.7	67.5	112.1	147.7	180.0	303.8	448.1	6.7	33.7	40.1	46.5	1,563.0	932.8	630.2
ต่ำสุด 2522	10.1	42.4	95.2	85.9	51.3	165.9	39.8	5.9	1.5	0.0	12.0	7.3	517.3	480.5	36.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 6,260 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 1,455.3 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณ

น้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 952.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 65.4 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 503.0 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 34.6 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำเพชรบุรี

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2504-2551	43.4	76.0	73.5	100.2	152.1	215.5	335.0	230.0	93.9	53.9	38.6	43.3	1,455.3	952.3	503.0
สูงสุด 2539	26.5	146.8	127.0	190.9	453.1	807.6	1,096.7	990.3	198.0	86.0	82.2	89.5	4,294.6	2,822.1	1,472.5
ต่ำสุด 2510	20.5	14.8	20.6	17.2	25.8	22.0	78.7	31.8	42.8	17.7	11.9	23.1	326.8	179.1	147.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 0.0962\ A^{1.1135} \qquad R^2 = 0.792$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 7.3573\ A^{0.4603} \qquad R^2 = 0.6923$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	1.91	2.62	3.53	4.20	4.86	5.53	6.40	7.07

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

20) ลุ่มน้ำชายทะเลฝั่งตะวันตก

(1) ภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.8 – 24.0	27.6
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	96.0 – 77.6	89.4
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	6.15 – 1.08	2.73
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,437.0 – 1,037.5	1,233.8

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 938.6 มิลลิเมตร จนถึง 1,396.6 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,082.1 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ตุลาคม) ประมาณ 753.7 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ

69.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน – เมษายน) ประมาณ 328.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 30.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	43.8	121.9	89.0	95.0	103.9	115.1	228.8	144.5	24.0	31.5	37.0	47.6	1,082.1	753.7	328.4
สูงสุด 2498	25.1	155.3	161.2	34.2	55.4	187.6	618.1	220.5	15.0	26.1	2.1	82.8	1,583.4	1211.8	371.6

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 7,133 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 1,357.9 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 1,151.6 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 84.8 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 206.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 15.2 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2523-2551	44	40.7	68.5	92.6	155.4	120.1	272.6	322.5	72.9	50	26.5	85.8	1,357.9	1,151.6	206.3
สูงสุด 2539	22	45.5	69.1	463.3	320.8	303	845	377.1	274.2	58.1	34.4	15.9	2,828.5	2,698.1	130.5
ต่ำสุด 2531	18.2	44.8	34.4	34.6	37.3	93.5	91.8	298.8	51.3	28.4	22.3	41.3	796.8	686.6	110.2

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Qm = 0.8194\ A^{0.8051} \qquad R^2 = 0.845$$

เมื่อ Qm = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 7.3573\ A^{0.4603} \qquad R^2 = 0.6923$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตกดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.88	2.48	3.6	5.01	6.06	7.1	8.13	9.5	10.53

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

21) ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	31.2 – 23.0	27.3
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	98.0 – 81.7	92.3
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	3.96 – 0.14	1.38
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,055.9 – 808.2	938.9

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,509.8 มิลลิเมตร จนถึง 3,297.5 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,922.4 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ธันวาคม) ประมาณ 1,670.8 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 86.9 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม – เมษายน) ประมาณ 251.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.1 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 26,068 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 24,058.1 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 21,701.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 90.2 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 2,356.7 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 9.8 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
506.2	1,101.4	1,365.5	2,558.7	4,472.8	3,247.6	4,173.6	3.302.8	1,479.0	741.7	372.2	736.6	24,058.1	21,701.3	2.356.7
803.7	1,930.2	2.175.6	3,924.1	6,764.4	5.040.5	6,353.1	5,092.7	2,262.0	1,139.1	570.2	1,124.2	37,179.7	33542.6	3,637.1
340.8	818.4	922.5	1,663.9	2,868.3	2,137.3	2,693.9	2,159.4	959.2	483	241.8	476.7	15,765.1	14,222.9	1,542.2

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 3.1263\ A^{0.8416} \qquad R^2 = 0.853$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออกซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 12.375\ A^{0.5138} \qquad R^2 = 0.4633$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.97	2.00	2.78	3.75	4.48	5.20	5.91	6.86	7.57

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

22) ลุ่มน้ำตาปี

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.2 – 24.7	27.0
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	96.4 – 81.2	88.3
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.23 – 0.40	1.18
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,072.3 – 866.0	963.7

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน(2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำตาปี ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,505.3 มิลลิเมตร จนถึง 1,891.4 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,599.4 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ธันวาคม) ประมาณ 1,417.8 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 88.6 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม – เมษายน) ประมาณ 181.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 11.4 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี)

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	83.1	177.3	150.2	168.8	175.2	200.0	228.4	217.0	100.9	36.3	17.0	45.2	1,599.4	1,417.8	181.6
สูงสุด 2509	68.0	166.6	188.1	147.9	209.2	260.1	359.6	381.5	259.0	162.3	22.1	26.3	2,250.7	1,972.0	278.7
ต่ำสุด 2545	68.9	120.3	99.2	114.9	162.4	82.2	117.4	165.8	90.3	13.3	1.9	25.3	1,061.9	952.5	109.4

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำตาปี มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 13,562 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 16,624.7 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 14,551.5 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 87.5 ของปริมาณน้ำ

ทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 2,073.3 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 12.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำตาปี

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2512-2551	340.8	700.6	933.2	1,293.4	1,502.4	2,150.7	2,909.7	2,937.0	2,124.3	1,020.8	395.2	316.5	16,624.7	14,551.5	2,073.3
สูงสุด 2543	554.7	1,137.2	1,540.5	2,100.5	2,439.9	3,492.7	4,725.3	4,822.3	3,272.7	1,657.8	641.8	513.9	26,899.1	23,531.0	3,368.1
ต่ำสุด 2514	181.8	372.7	504.9	688.4	799.6	1,144.7	1,548.7	1,580.5	1,072.6	543.3	210.3	168.4	8,815.9	7,712.1	1,103.9

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำตาปีได้ดังนี้

$Q_m = 1.1662\ A^{1.0066}$ $R^2 = 0.928$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำตาปี ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 6.924\ A^{0.5747}$ $R^2 = 0.6384$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	2.69	3.95	5.55	6.74	7.91	9.09	10.63	11.80

ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน (2553)

23) ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.7 – 24.1	27.4
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	94.8 – 78.4	88.5
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.15 – 0.59	1.20
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,088.6 – 923.7	981.4

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2553

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ โดยนำข้อมูลน้ำฝนรายปีเฉลี่ย มาสร้างแผนที่แสดงปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย ดังรูป พอสรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,562.5 มิลลิเมตร

จนถึง 2,630.3 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,966.4 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ธันวาคม) ประมาณ 1,673.0 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 85.1 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม – เมษายน) ประมาณ 293.4 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 14.9 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี)

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
91.3	135.8	92.9	98.9	108.8	130.2	261.4	483.4	361.6	102.4	37.1	62.6	1,966.4	1,673.0	293.4

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2553

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 8,481 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 2,742.4 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 2,112.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 77.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 629.6 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 23.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
120.2	121.1	78.5	69.3	61.7	84.3	245.8	644.3	807.8	283.2	113.1	113.1	2,742.4	2,112.9	629.6

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2553

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Q_m = 4.6458\ A^{0.6713} \qquad R^2 = 0.781$$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$$Q_f = 20.473\ A^{0.3328} \qquad R^2 = 0.3490$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	2.03	2.82	3.81	4.54	5.27	6.00	6.96	7.69

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2553

24) ลุ่มน้ำปัตตานี

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	29.7 – 25.6	27.8
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	94.8 – 76.6	85.9
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.55 – 0.88	1.62
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	1,229.4 – 854.4	964.3

ที่มา : สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน กันยายน พ.ศ.2553

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มปัตตานี ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,532.5 มิลลิเมตร จนถึง 2,001.5 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 1,747.5 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ธันวาคม) ประมาณ 1,482.7 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 84.8 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม – เมษายน) ประมาณ 264.8 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 15.2 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มปัตตานี

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	97.5	158.2	114.1	119.5	135.6	155.5	239.2	294.6	266.0	71.1	34.5	61.7	1,747.5	1,482.7	264.8
สูงสุด 2543	339.6	100.1	147.4	61.6	193.9	221.7	167.9	652.3	300.2	277.0	35.1	133.9	2,630.2	1,844.6	785.6
ต่ำสุด 2505	72.8	116.6	46.1	57.0	127.3	121.0	193.3	131.6	165.8	98.7	2.3	11.6	1,144.1	958.7	185.4

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำปัตตานี มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 3,655 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 2,753.8 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 2,024.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 73.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 728.9 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 26.5 ของปริมาณน้ำทั้งปี) โดยได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำปัตตานี

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2532-2551	153.9	142.9	194.8	182.9	162.5	130.8	221.0	262.3	727.7	256.0	191.7	127.3	2,753.8	2,024.9	728.9
สูงสุด 2543	319.7	371.9	329.2	313.9	339.5	405.3	430.4	552.2	725.9	412.3	275.4	288.8	4,764.6	3,468.4	1,296.2
ต่ำสุด 2533	75.2	87.5	77.4	73.8	79.9	95.3	101.2	129.9	170.7	97.0	64.8	67.9	1,120.6	815.8	304.9

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำปัตตานี ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้ $Q_m = 0.5381\ A^{1.0448}$ $R^2 = 0.987$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำปัตตานี ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 9.3177\ A^{0.5714}$ $R^2 = 0.5913$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.96	2.00	2.78	3.75	4.48	5.20	5.91	6.86	7.57

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

25) ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก

(1) สภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลของสถานีตรวจอากาศที่สำรวจโดยกรมชลประทาน ประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมผิวพื้น และอัตราการระเหย

สภาพภูมิอากาศที่สำคัญของลุ่มน้ำ

ข้อมูลภูมิอากาศที่สำคัญ	หน่วย	ช่วงพิสัยค่ารายปี	ค่ารายปีเฉลี่ย
อุณหภูมิอากาศ	องศาเซลเซียส	30.2 – 25.7	27.9
ความชื้นสัมพัทธ์	เปอร์เซ็นต์	96.0 – 80.4	89.1
ความเร็วลมผิวพื้น	กิโลเมตรต่อชั่วโมง	2.78 – 0.18	1.34
อัตราการระเหย	มิลลิเมตร	902.0 – 854.4	877.1

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(2) ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก ได้ศึกษาจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และกรมป่าไม้ สรุปได้ว่า ค่าปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยผันแปรตั้งแต่ 1,575.9 มิลลิเมตร จนถึง 4,185.4 มิลลิเมตร มีค่าน้ำฝนรายปีเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลุ่มน้ำ ประมาณ 2,532.3 มิลลิเมตร เป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม – ธันวาคม) ประมาณ 2,271.6 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 89.7 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม – เมษายน) ประมาณ 260.7 มิลลิเมตร (คิดเป็นร้อยละ 10.3 ของปริมาณน้ำฝนทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตกดังนี้

การผันแปรของปริมาณน้ำฝนรายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำ หน่วย : มิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	137.6	289.2	313.5	325.2	371.4	392.2	319.4	185.8	74.9	31.3	25.5	66.3	2,532.3	2.271.6	260.7
สูงสุด 2516	153.0	244.8	457.7	517.3	393.0	399.5	402.3	249.4	136.7	12.2	42.7	57.2	3,065.8	2800.7	265.1
ต่ำสุด 2546	44.1	162.0	142.1	292.6	372.3	290.0	367.1	128.2	56.8	8.0	30.2	39.7	1,945.1	1,823.1	122.0

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

(3) ปริมาณน้ำท่า

จากข้อมูลพื้นที่และปริมาณน้ำท่าที่ประเมินได้ สรุปได้ว่า พื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก มีพื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมด 19,727.23 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติรายปีเฉลี่ย 22,333.0 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน ประมาณ 19,420.8 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 87.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และเป็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้ง ประมาณ 2,912.2 ล้านลูกบาศก์เมตร (คิดเป็นร้อยละ 13.0 ของปริมาณน้ำทั้งปี) และได้สรุปการผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก

การผันแปรของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำหน่วย : ล้านลูกบาศก์เมตร

ปี พ.ศ.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวมปี	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
2495-2551	451.0	935.9	1073.0	1,445.7	1,519.6	2,235.9	3,540.2	4,752.3	3,918.2	1,510.3	528.0	422.9	22,333.0	19,420.8	2,912.2
สูงสุด 2509	875.8	1,810.9	2,102.3	2,832.1	2,977.0	4,380.2	6,935.1	9,301.1	7,603.0	3,012.8	1,001.9	778.4	43,610.6	37,941.7	5,668.8
ต่ำสุด 2545	160.3	331.5	384.8	518.4	544.9	801.8	1,269.4	1,702.5	1,391.7	551.5	183.4	142.5	7,982.7	6,945.0	1,037.6

ที่มา :สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน (2553)

และจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$Q_m = 1.2129\ A^{0.9974}$ $R^2 = 0.902$

เมื่อ Q_m = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย – ล้านลูกบาศก์เมตร

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

(4) ปริมาณน้ำนองสูงสุด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำนองสูงสุดที่เกิดขึ้นในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝนจะได้สมการ

$Q_f = 2.2213\ A^{0.7708}$ $R^2 = 0.7524$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ย – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน – ตารางกิโลเมตร

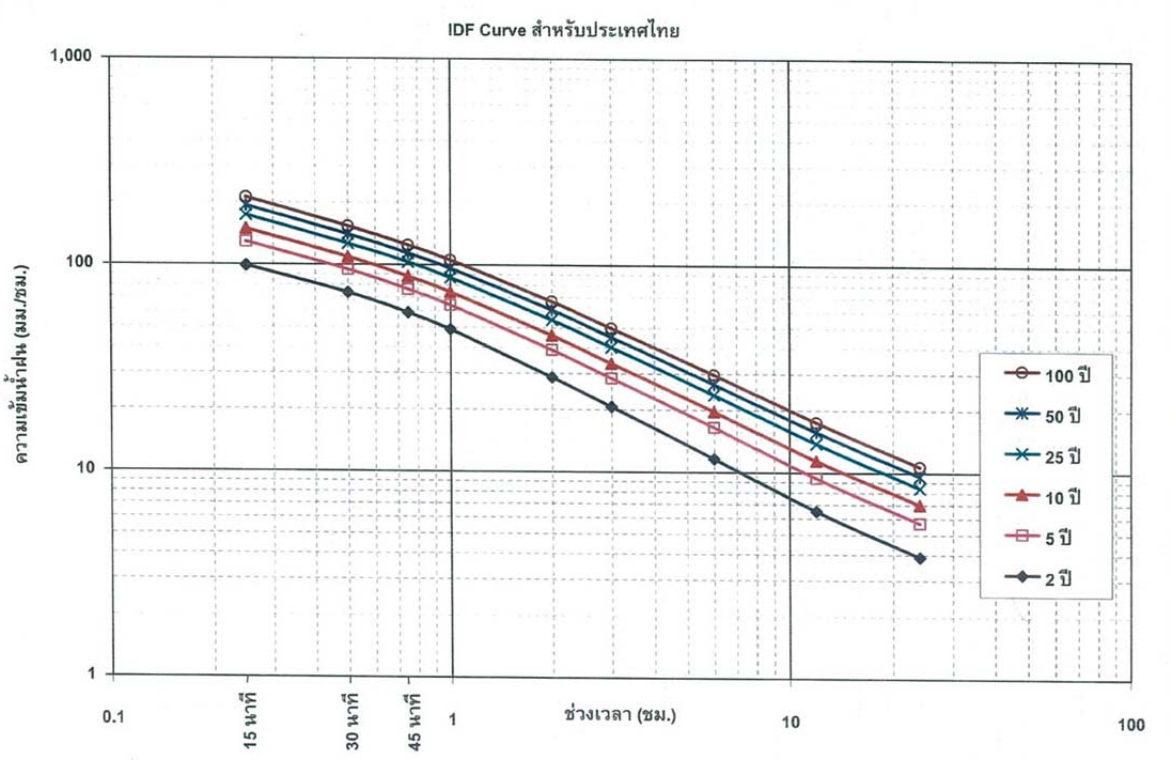
ผลจากการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆด้วยวิธีกัมเบลได้ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบปีต่างๆ ต่อค่าปริมาณน้ำนองสูงสุดเฉลี่ยของลุ่มน้ำดังนี้

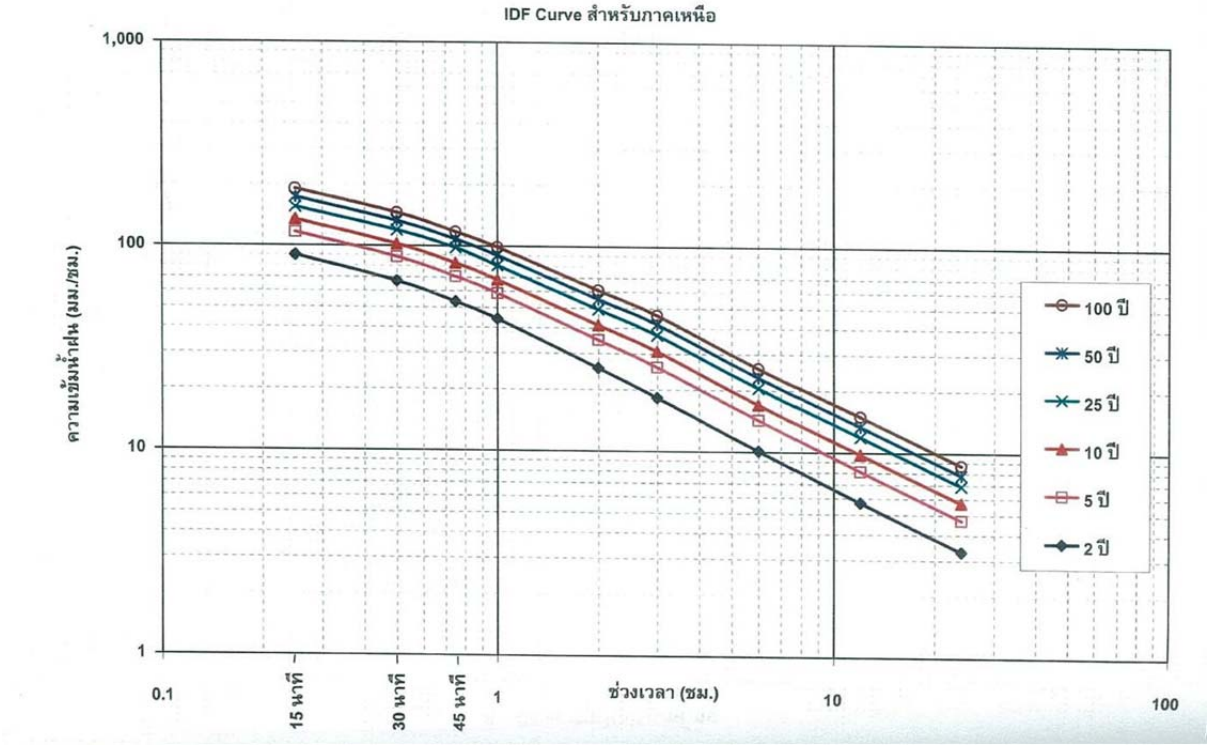
Tr	2 ปี	5 ปี	10 ปี	25 ปี	50 ปี	100 ปี	200 ปี	500 ปี	1,000 ปี
Q_{Tr}/Q_f	0.97	1.76	2.34	3.06	3.59	4.12	4.65	5.35	5.88

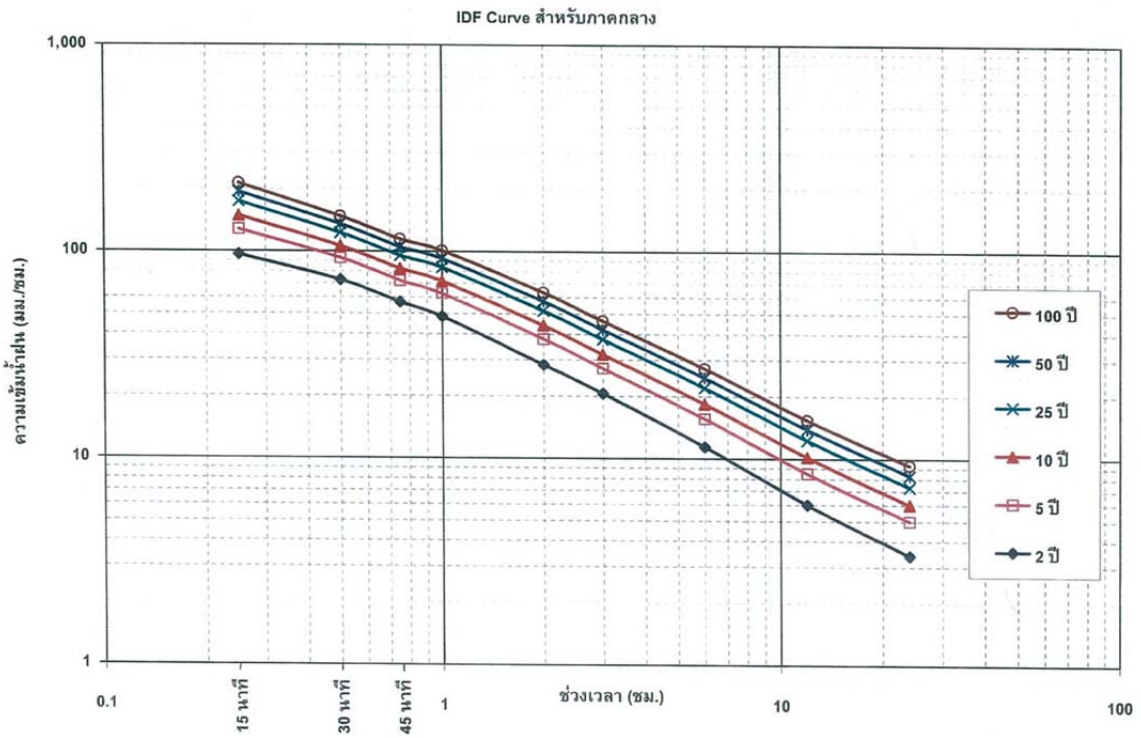
ที่มา:สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน(2553)

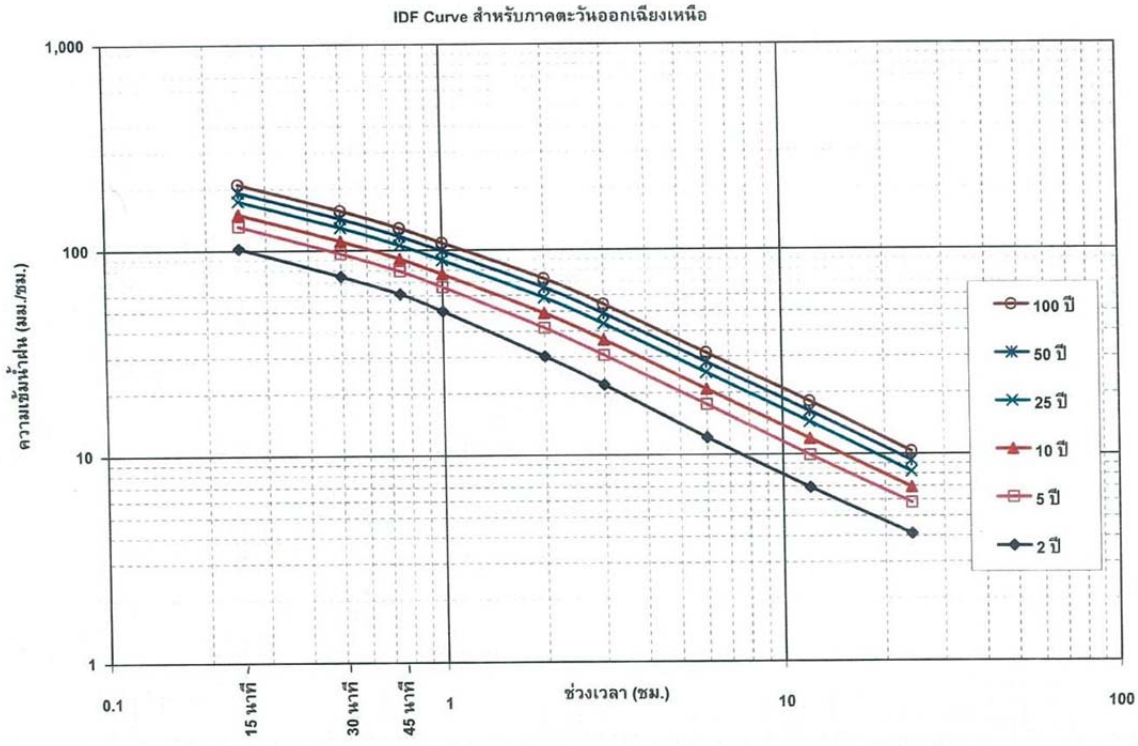
ภาคผนวก ข

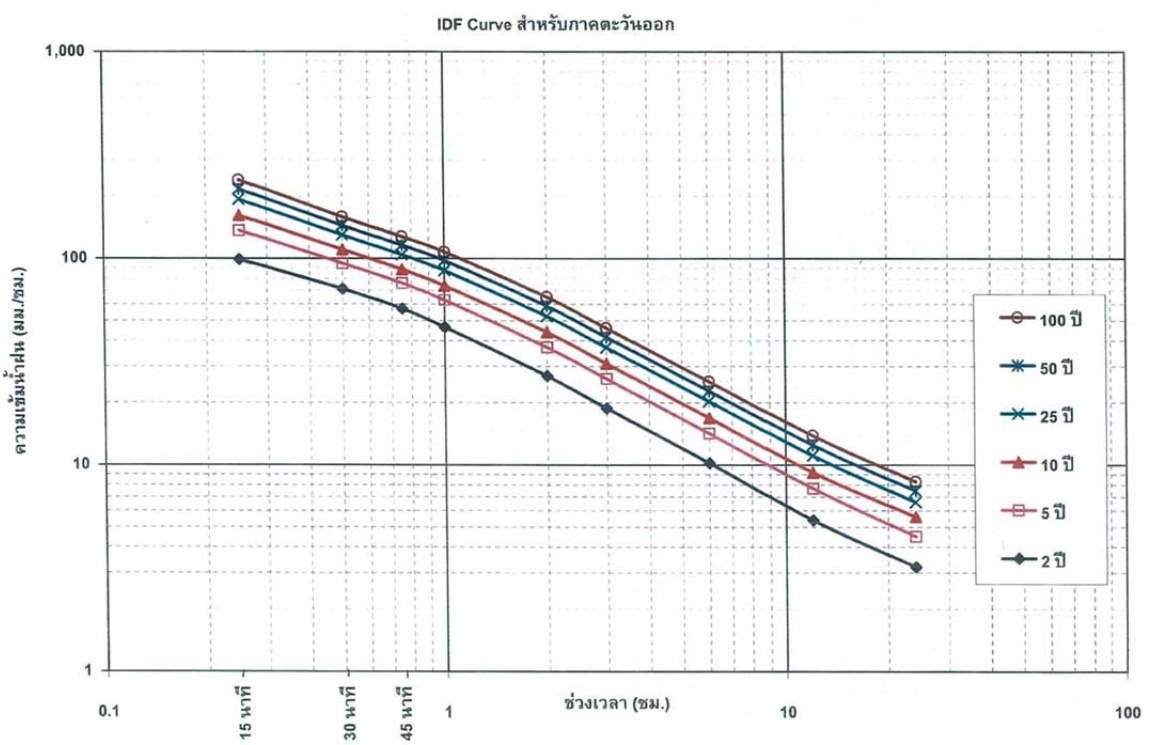
กราฟความเข้มน้ำฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curve)

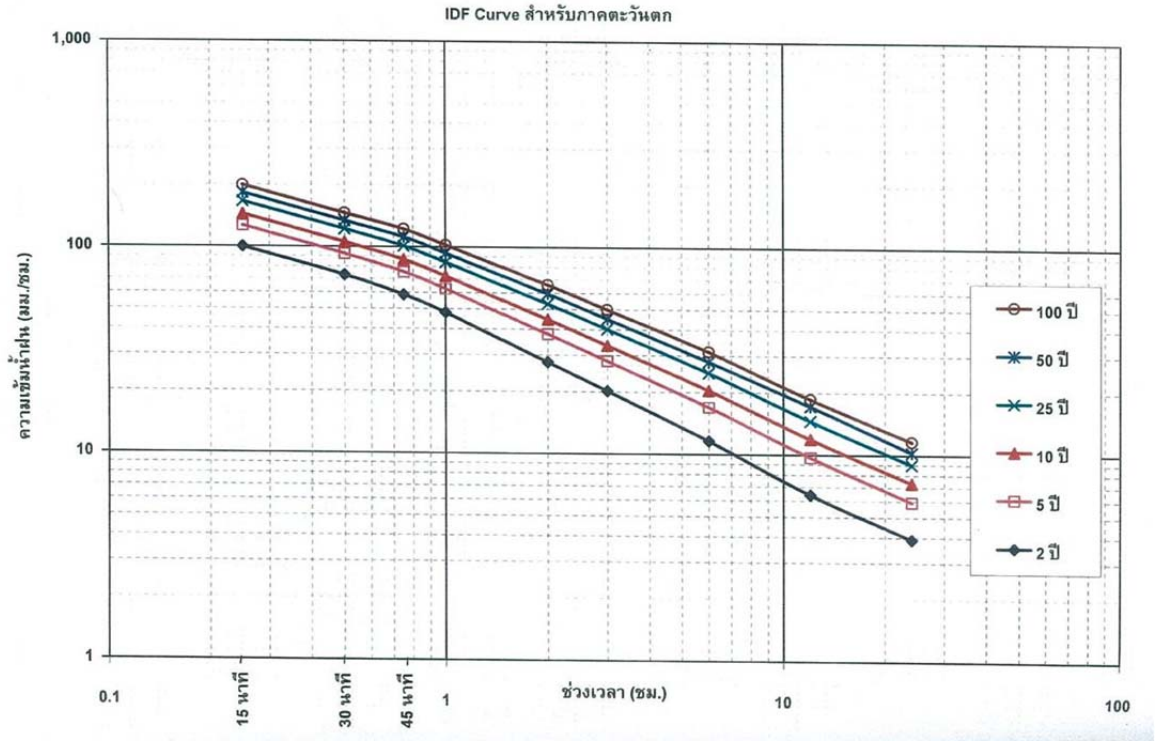

IDF Curve สำหรับประเทศไทย
ความเข้มฝนเฉลี่ย (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี

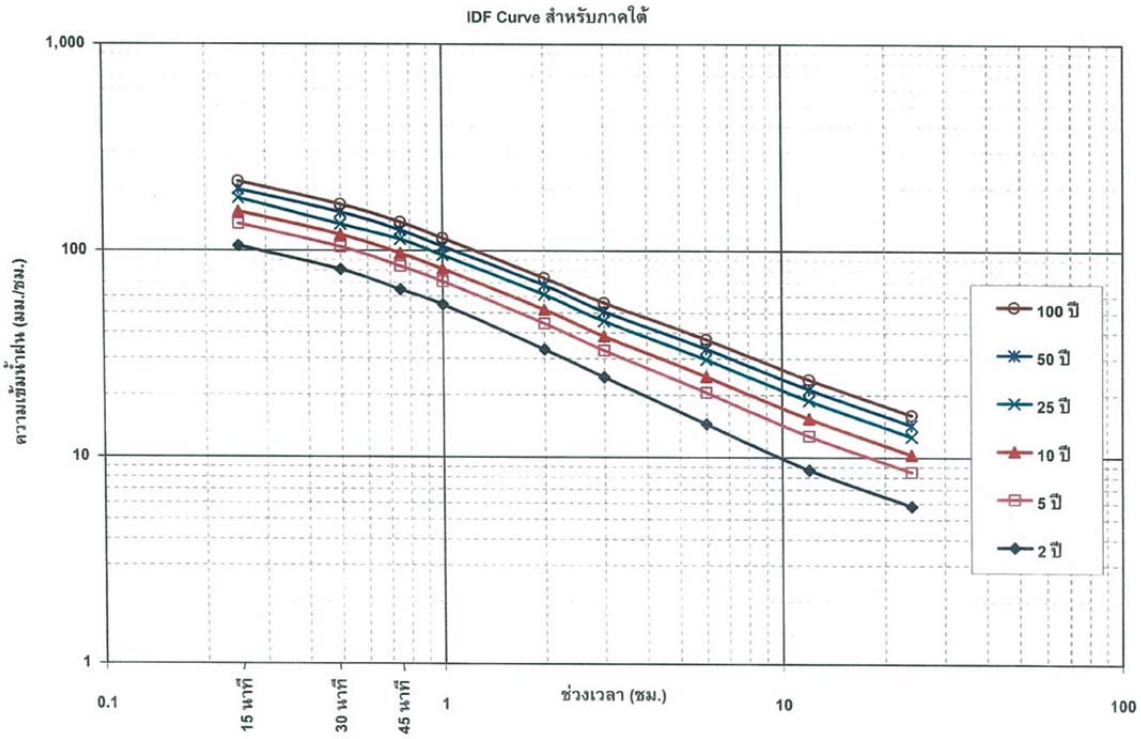

IDF Curve สำหรับภาคเหนือ
ความเข้มฝนเฉลี่ย (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี

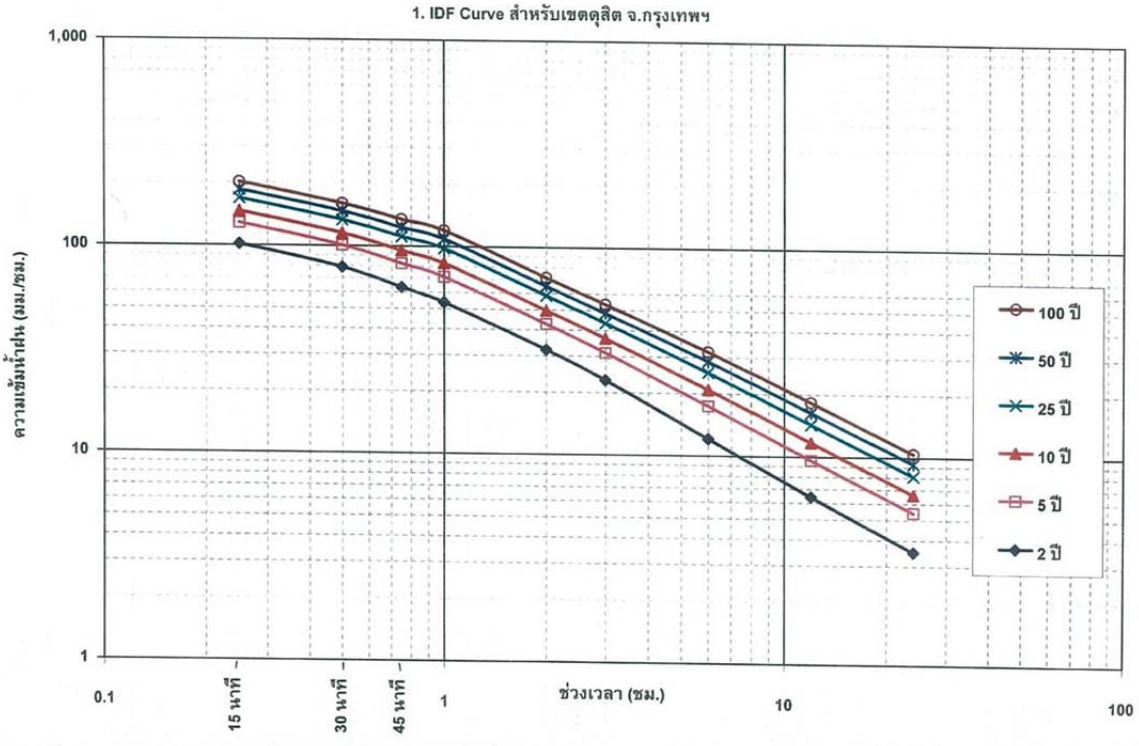

IDF Curve สำหรับภาคกลาง
ความเข้มน้ำฝน (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี


IDF Curve สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ความเข้มน้ำฝน (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี

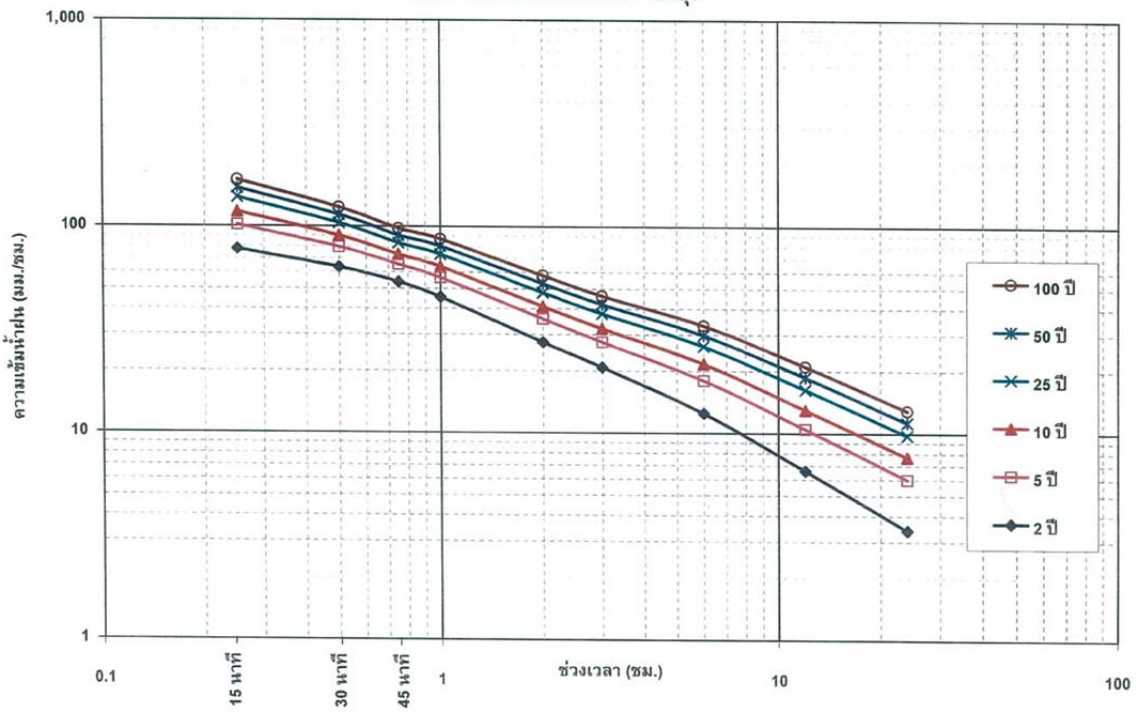

IDF Curve สำหรับภาคตะวันออก
ความเข้มของน้ำฝน (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี


IDF Curve สำหรับภาคตะวันตก
ความเข้มของน้ำฝน (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี

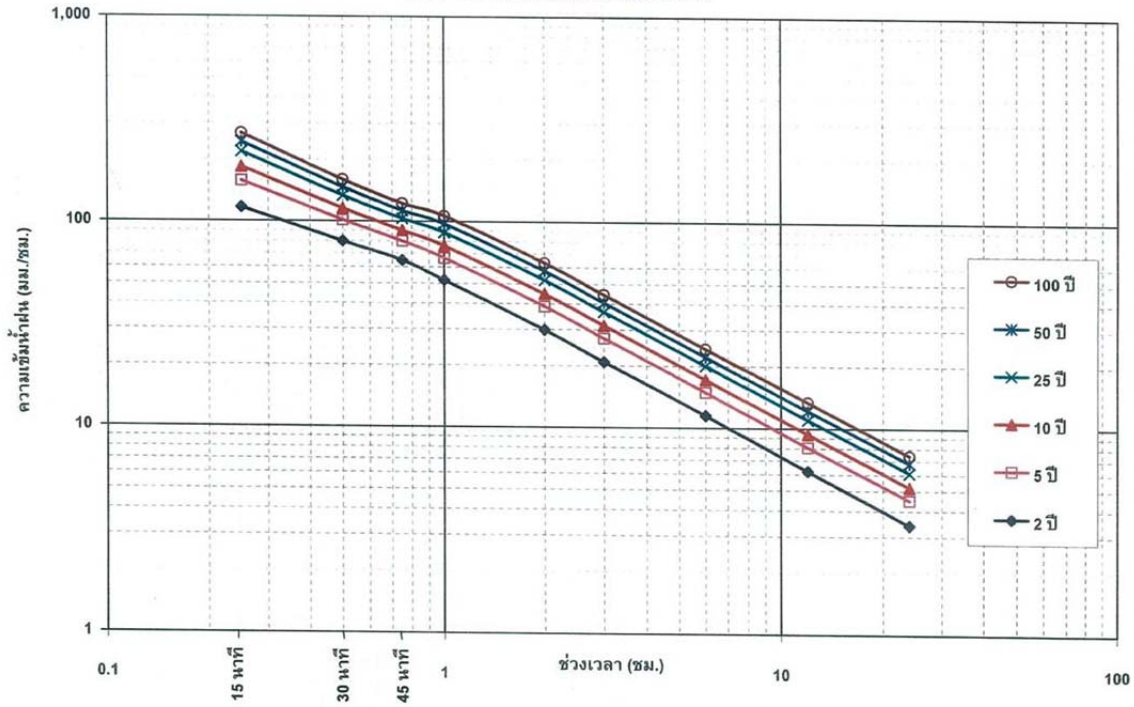

IDF Curve สำหรับภาคใต้
ความเข้มน้ำฝน (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี


1. IDF Curve สำหรับเขตดุสิต จ.กรุงเทพฯ
ความเข้มน้ำฝน (มม./ชม.)
1,000
100
10
1
0.1
15 นาที
30 นาที
45 นาที
1
10
100
ช่วงเวลา (ชม.)
100 ปี
50 ปี
25 ปี
10 ปี
5 ปี
2 ปี

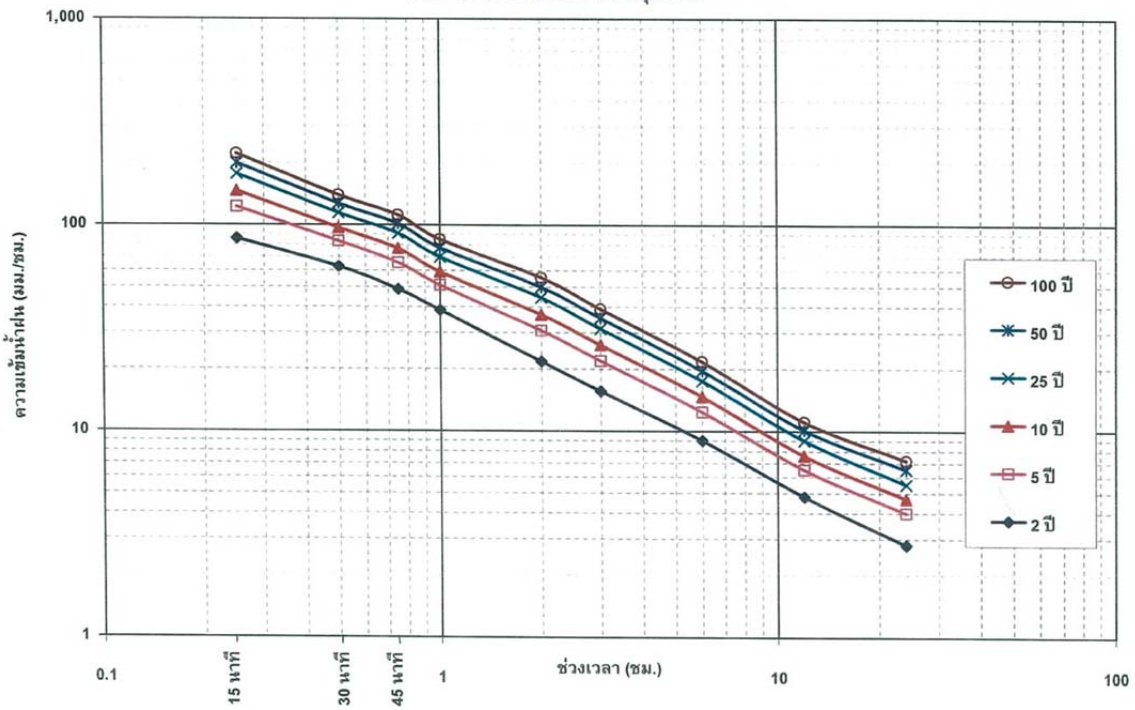
2. IDF Curve สำหรับ อ.บ้านหมี่ จ.ลพบุรี



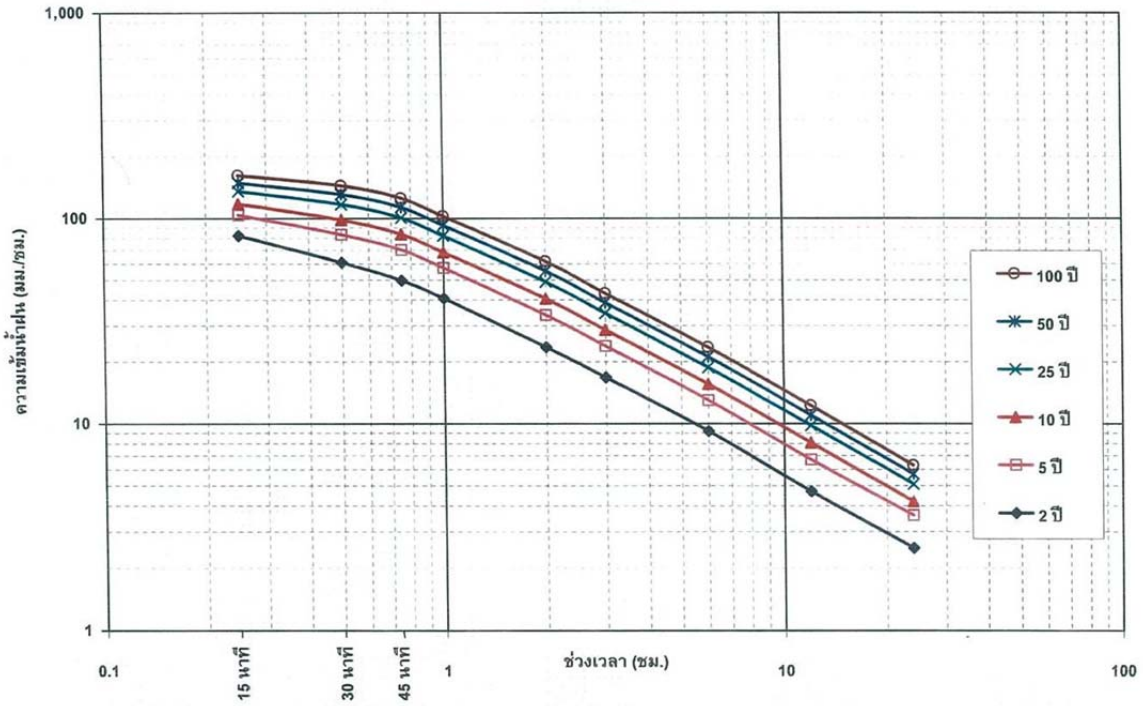
3. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.นครสวรรค์



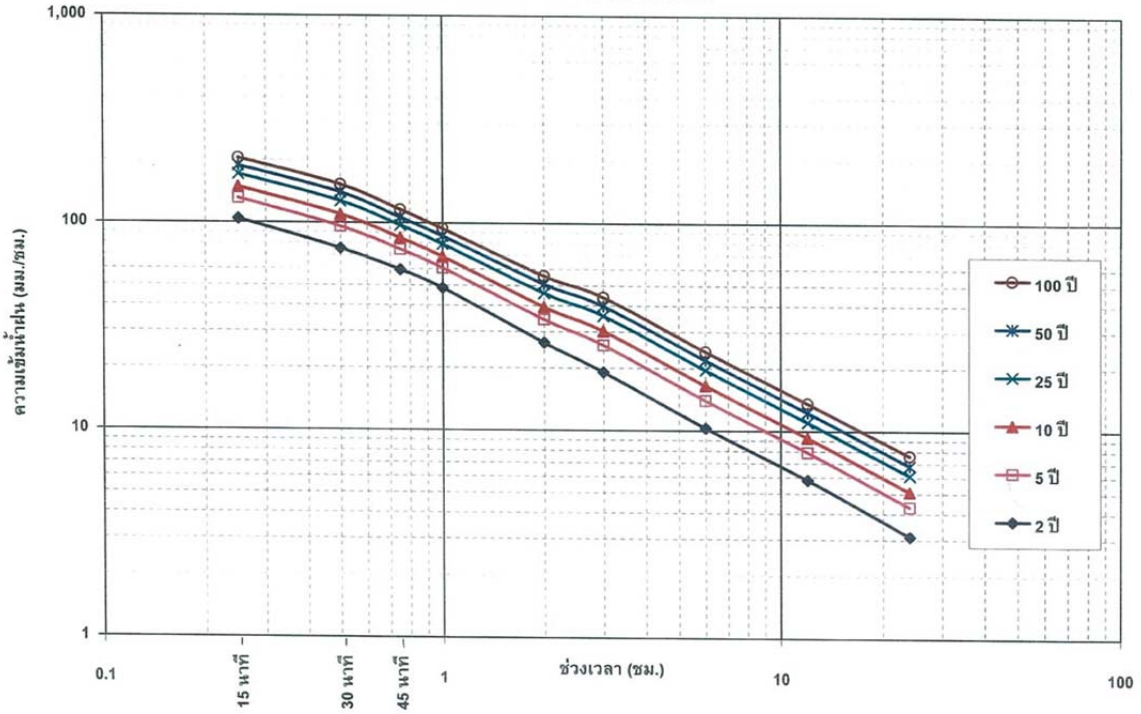
4. IDF Curve สำหรับ อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี



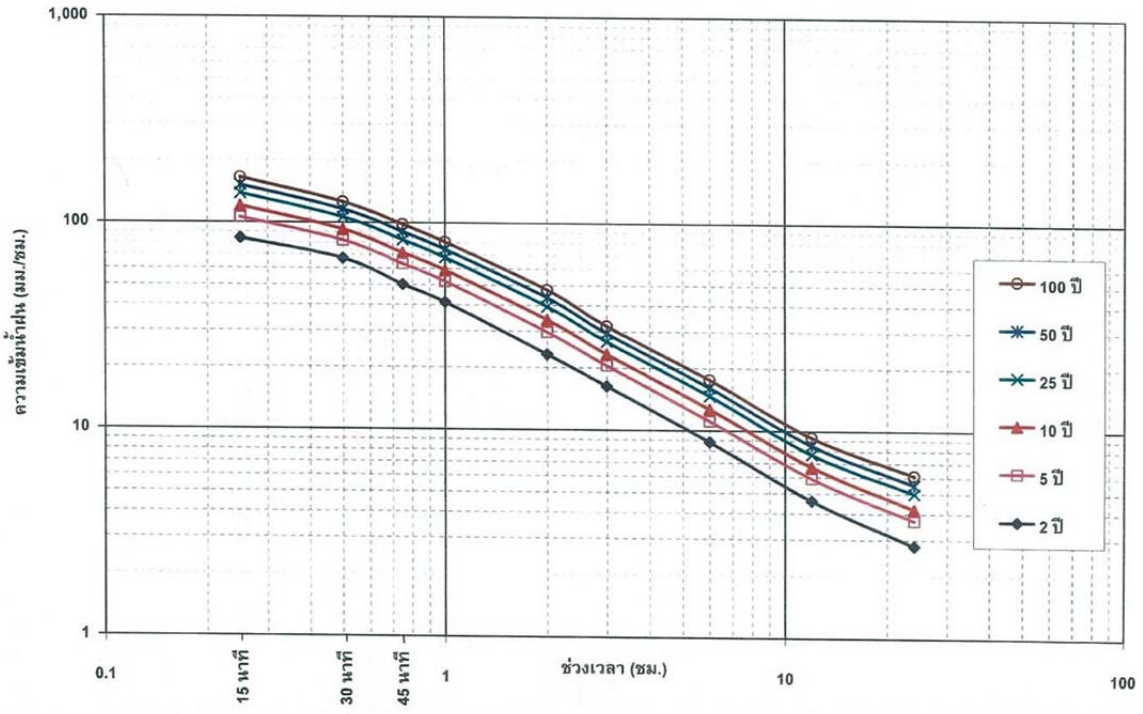
5. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.เชียงใหม่



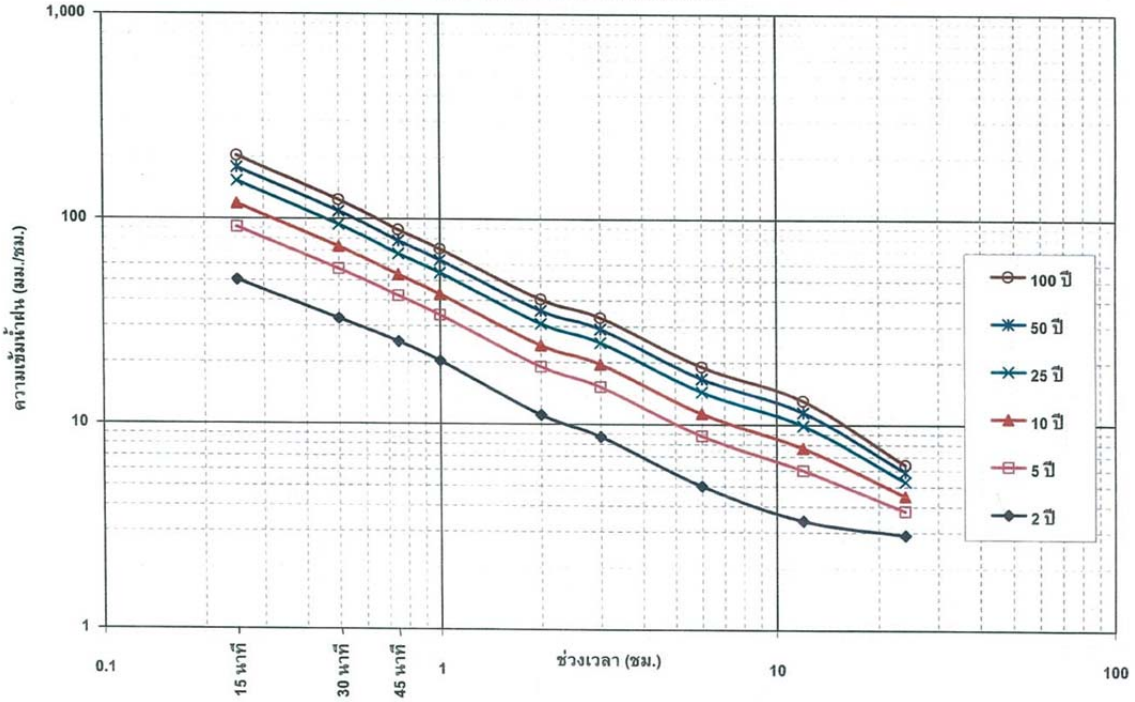
6. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.กำแพงเพชร



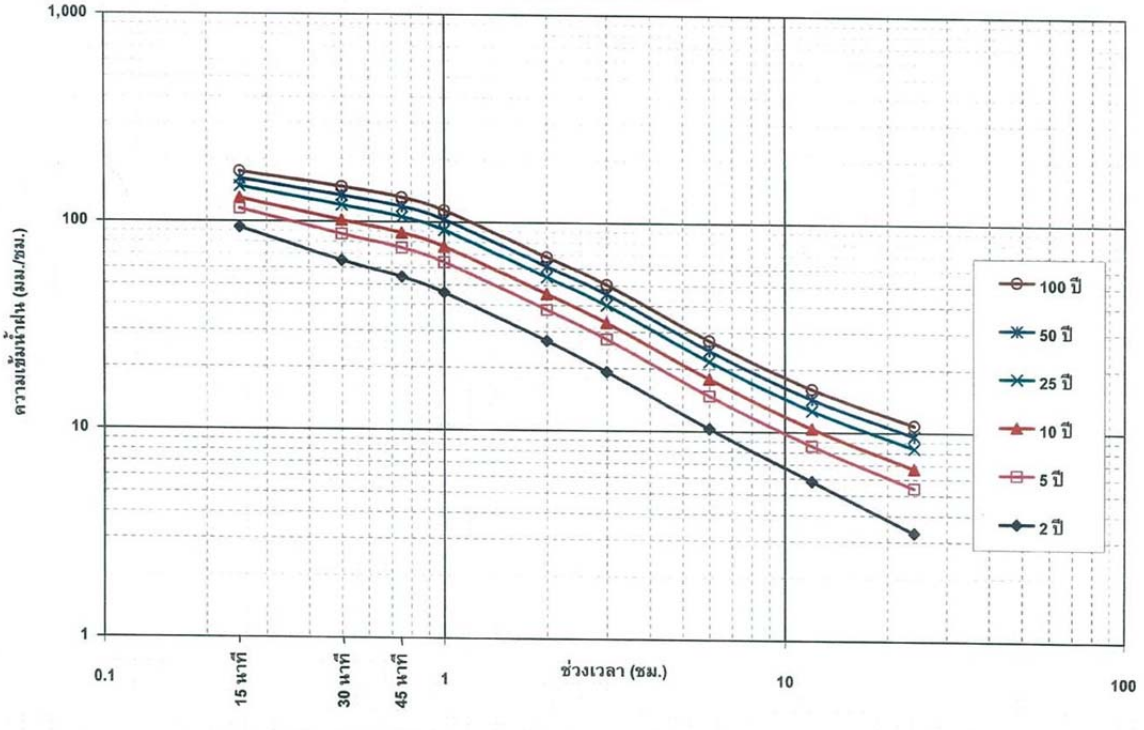
7. IDF Curve สำหรับ อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง



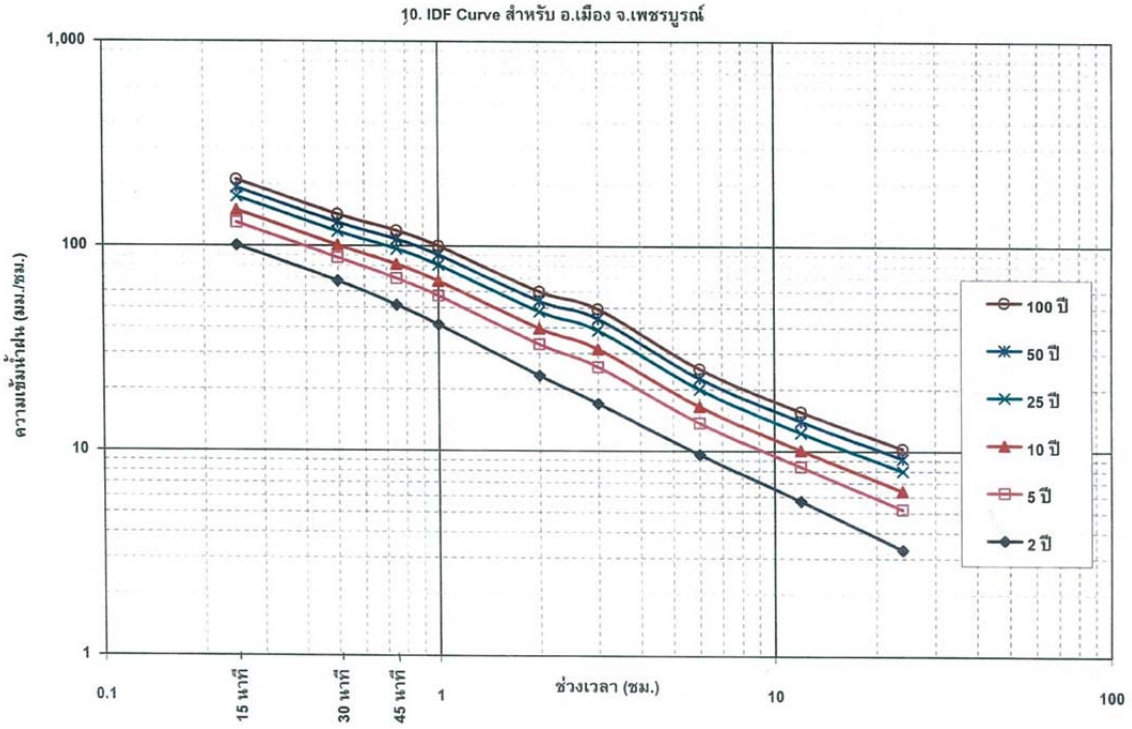
8. IDF Curve สำหรับ อ.แม่สะเรียง จ.แม่ฮ่องสอน



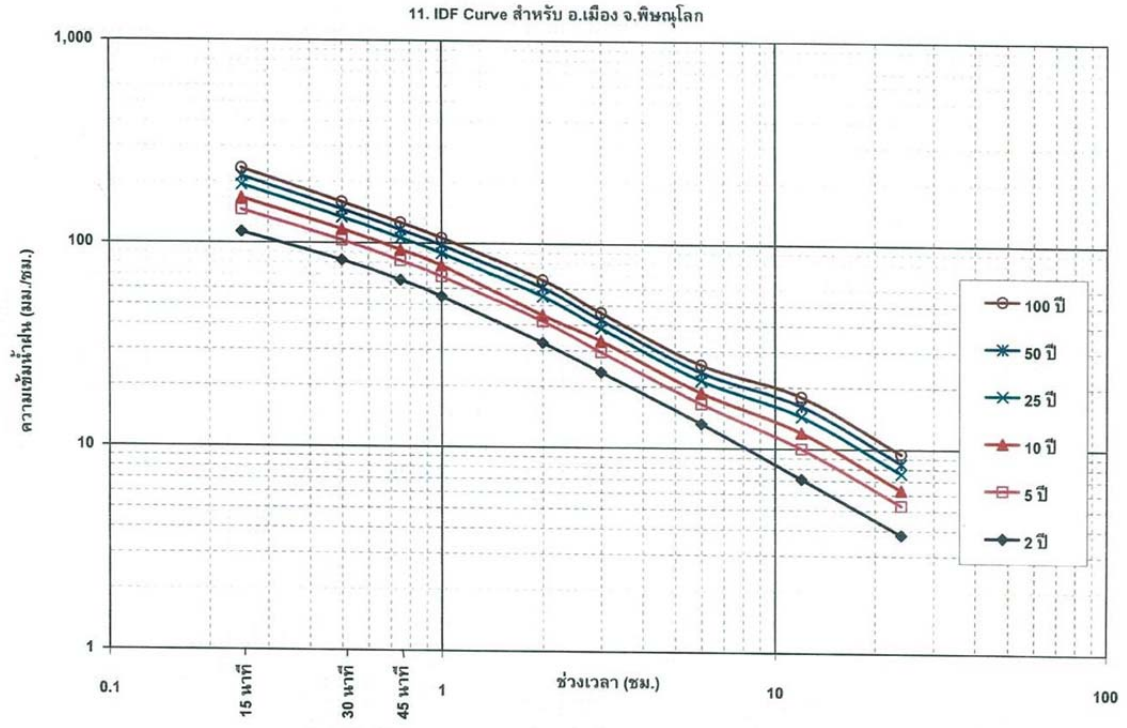
9. IDF Curve สำหรับ อ.เวียงสา จ.น่าน



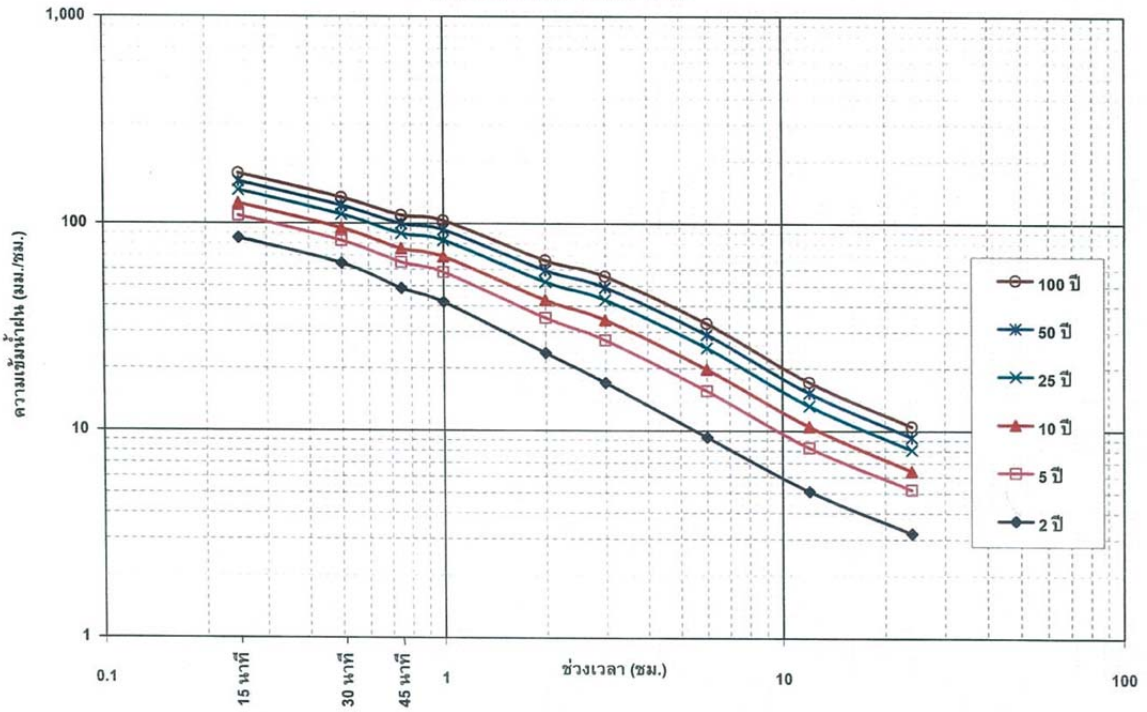
10. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์



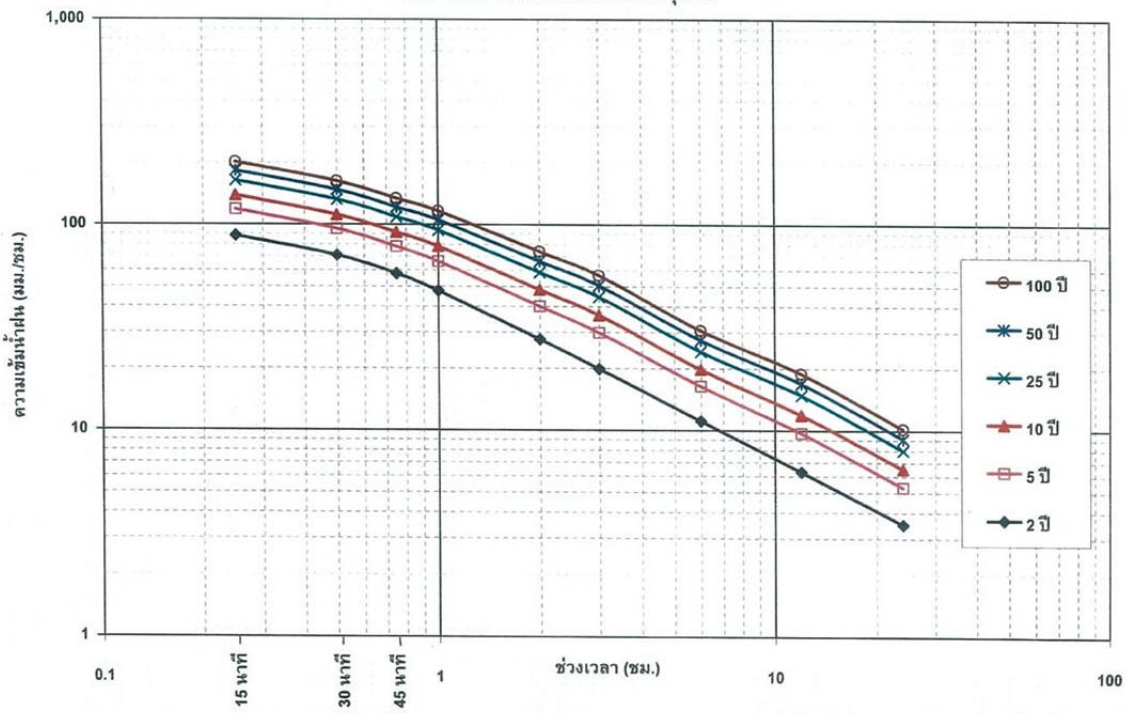
11. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.พิษณุโลก



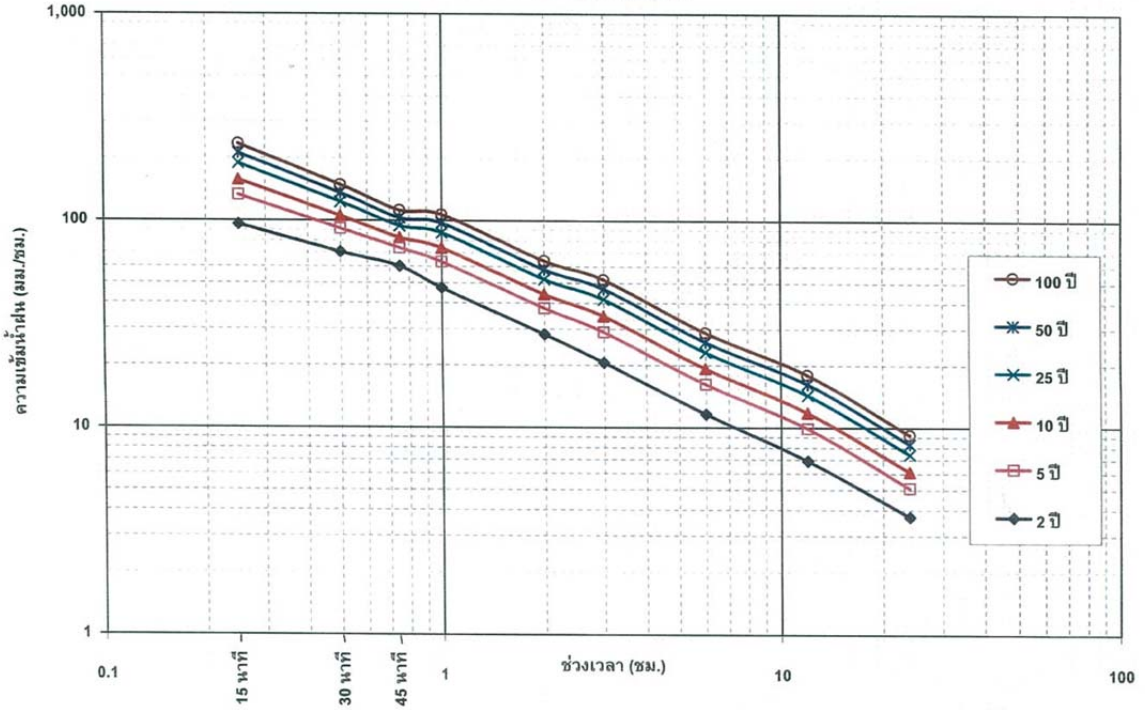
12. IDF Curve สำหรับ อ.สอง จ.แพร่



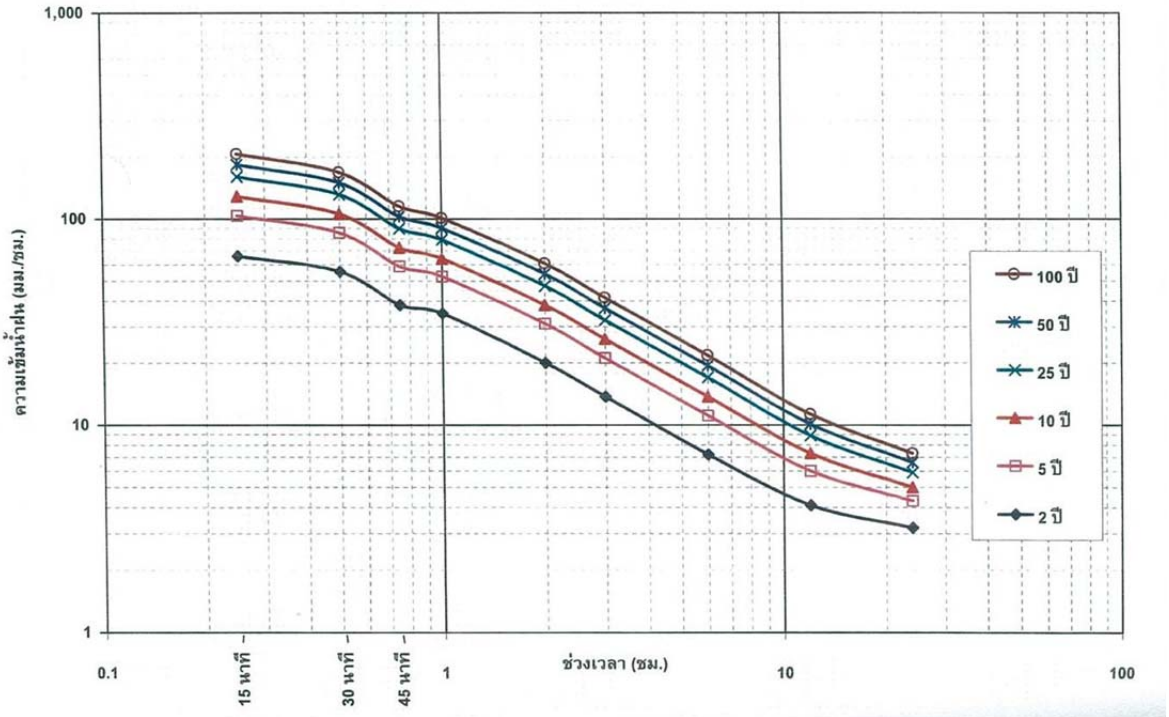
13. IDF Curve สำหรับ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย



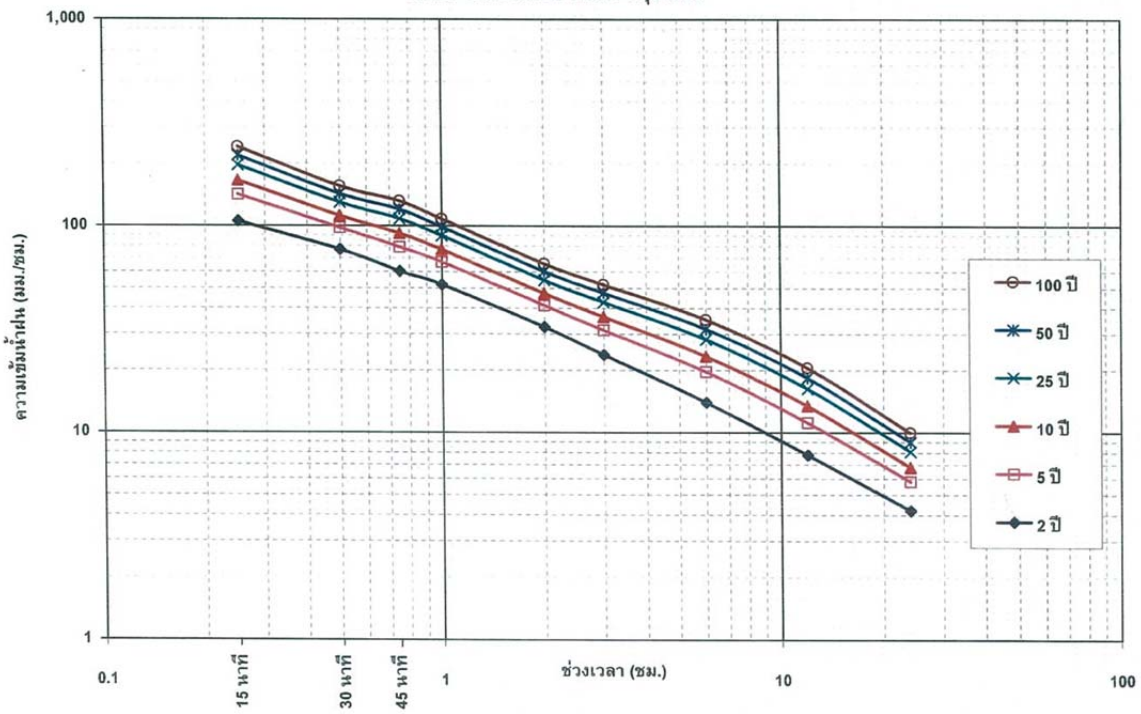
14. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ตาก



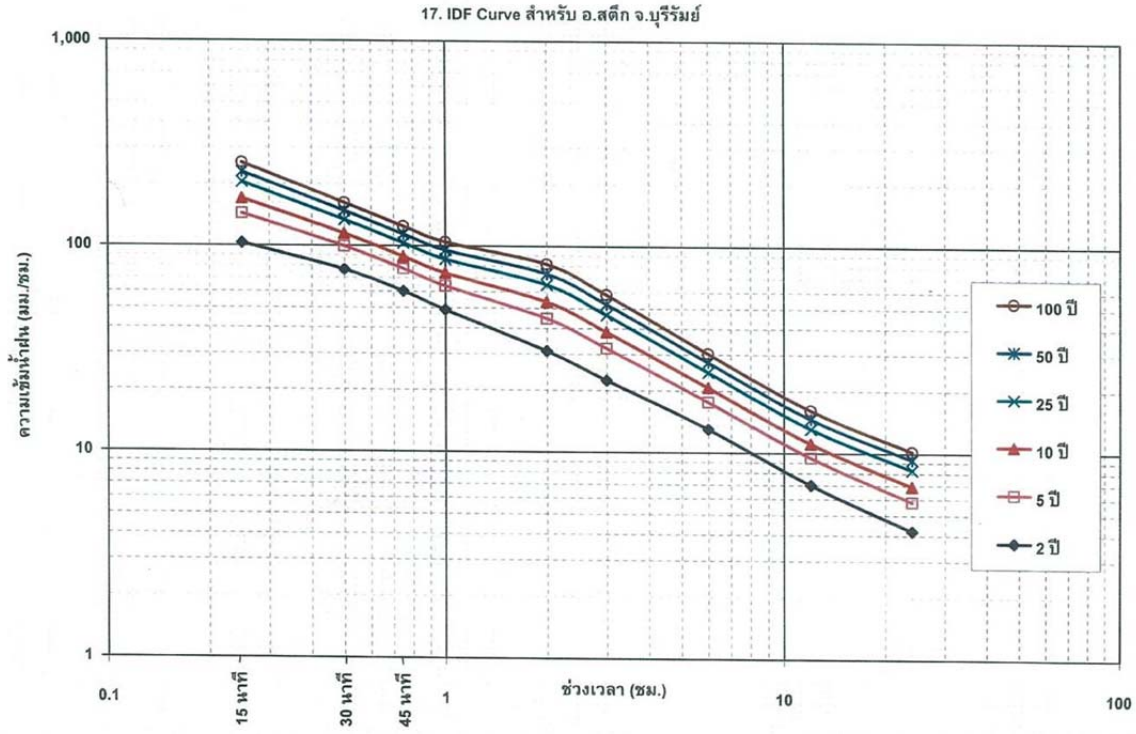
15. IDF Curve สำหรับ อ.สามเงา จ.ตาก



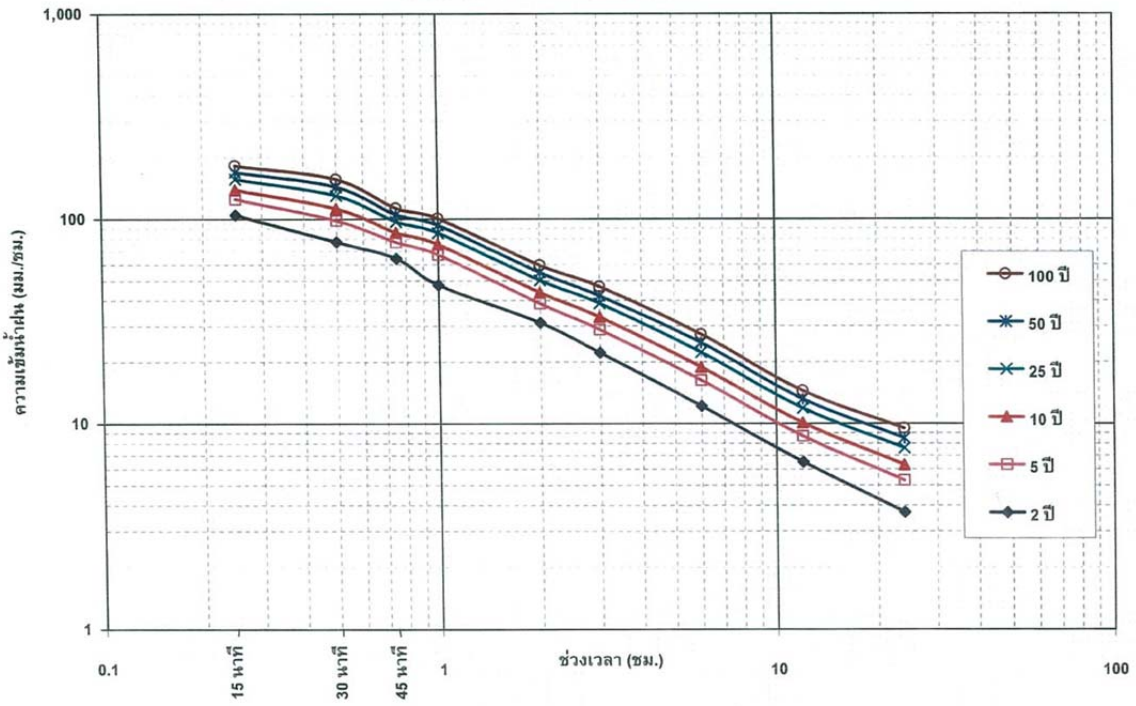
16. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์



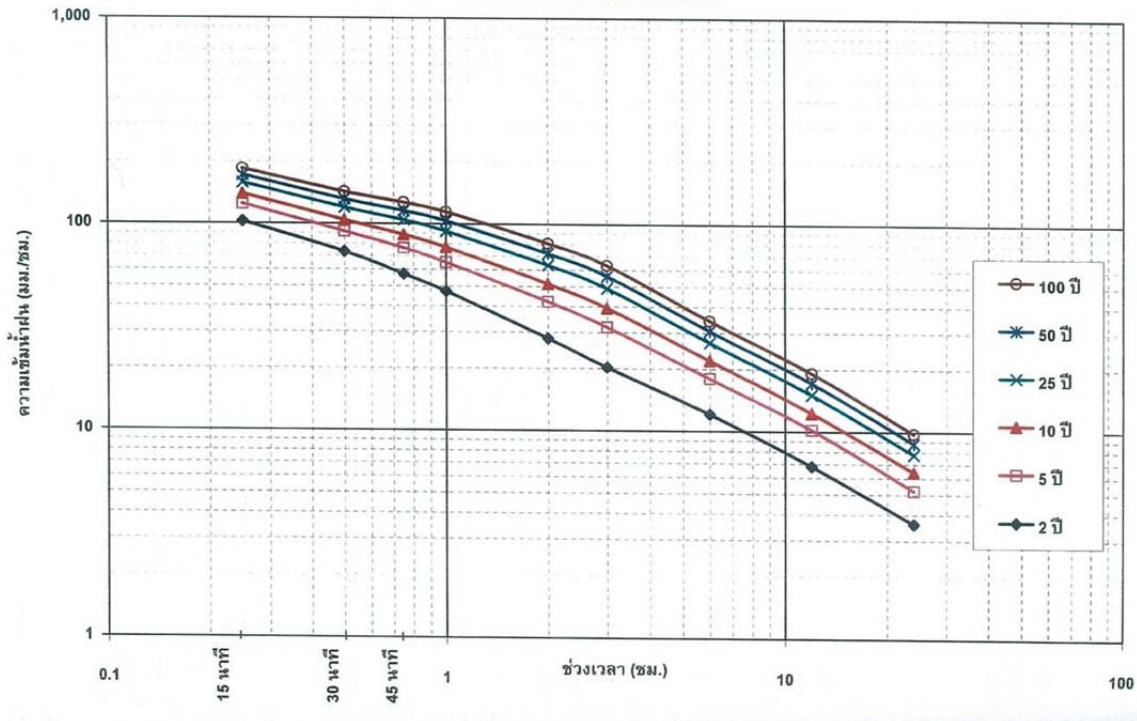
17. IDF Curve สำหรับ อ.สตึก จ.บุรีรัมย์



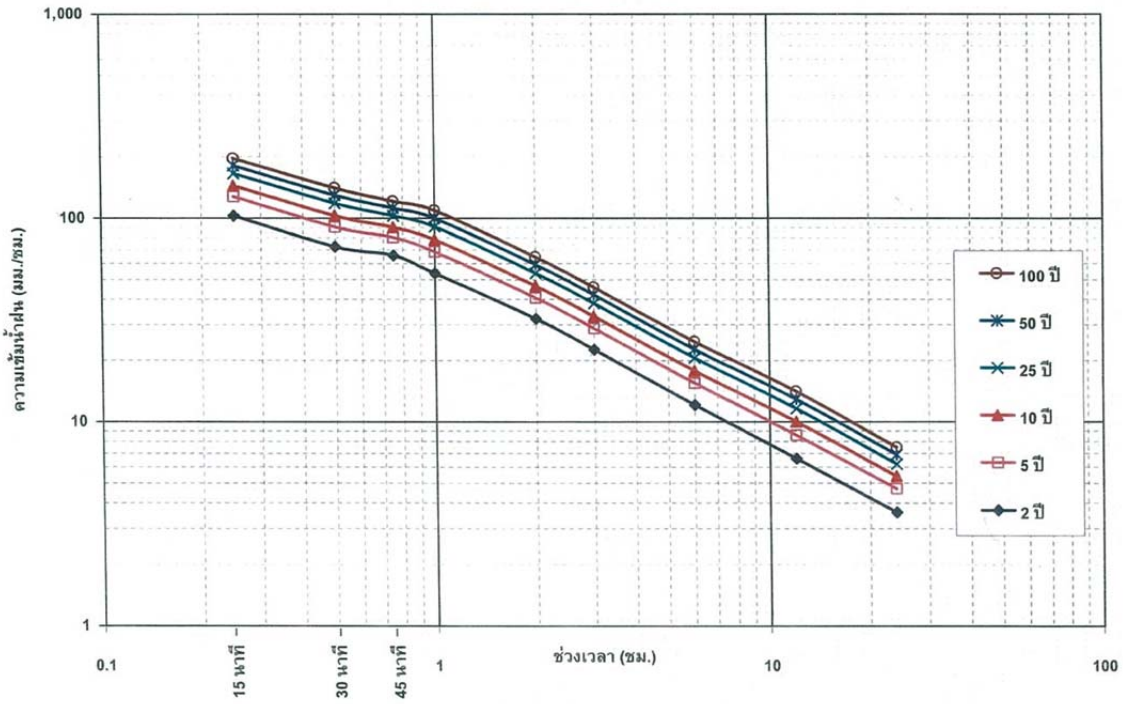
18. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ขอนแก่น



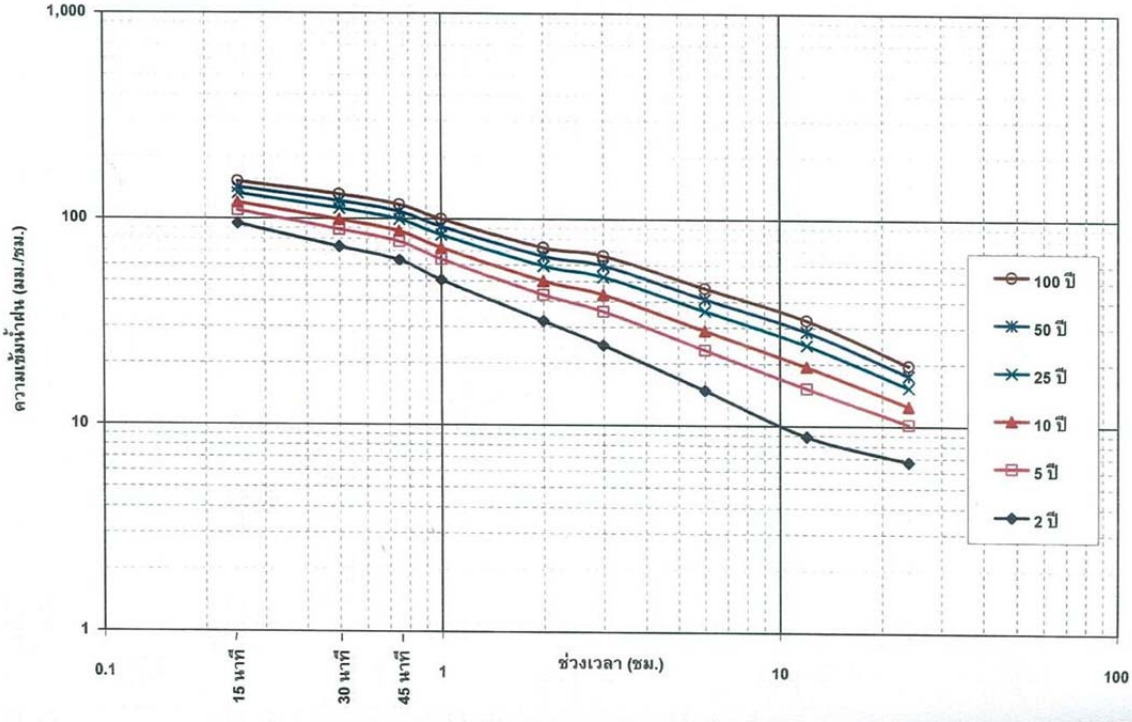
19. IDF Curve สำหรับ อ.น้ำพอง จ.ขอนแก่น



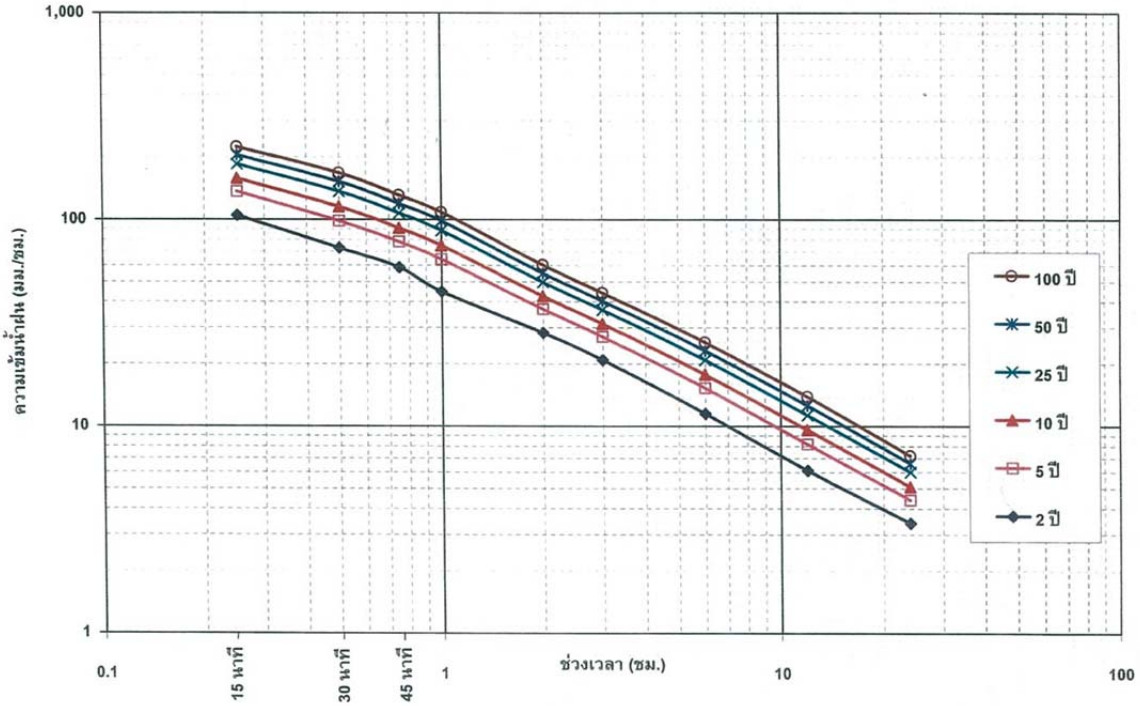
20. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.เลย



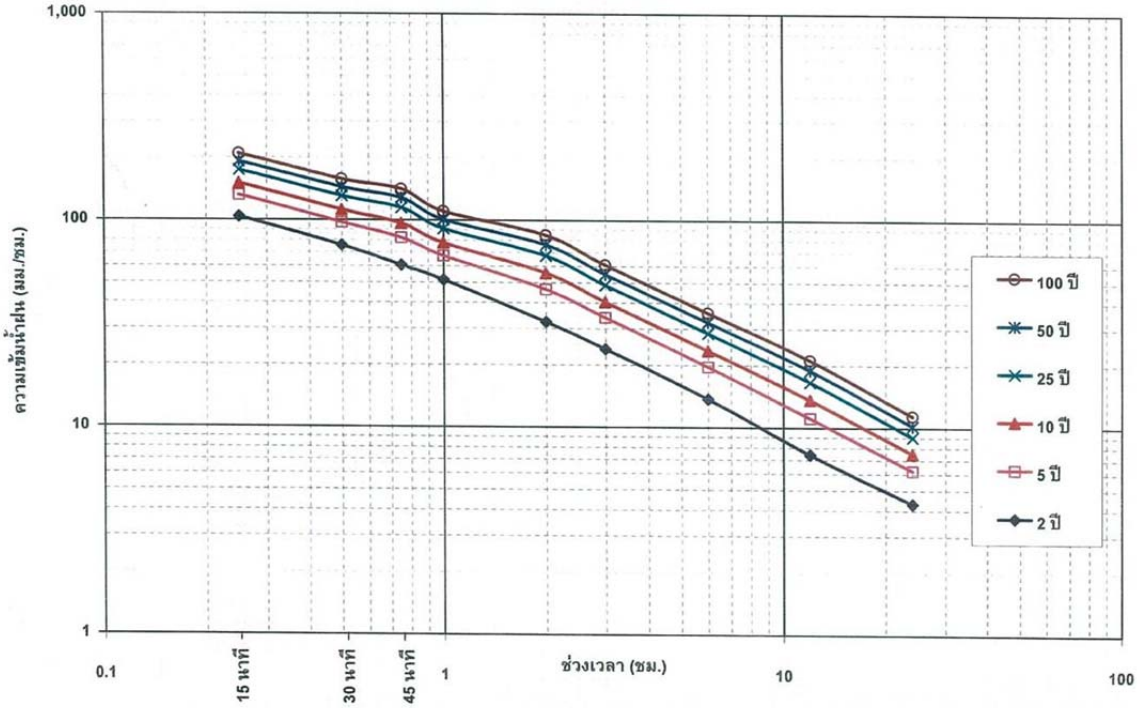
21. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.นครพนม



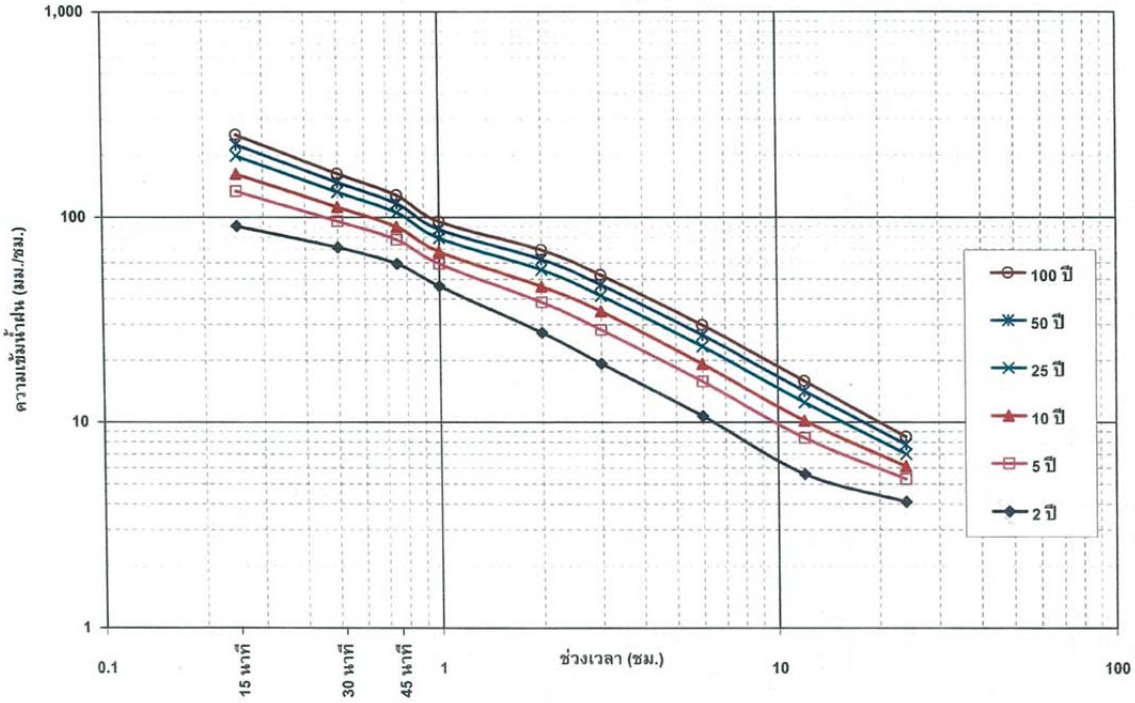
22. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.นครราชสีมา



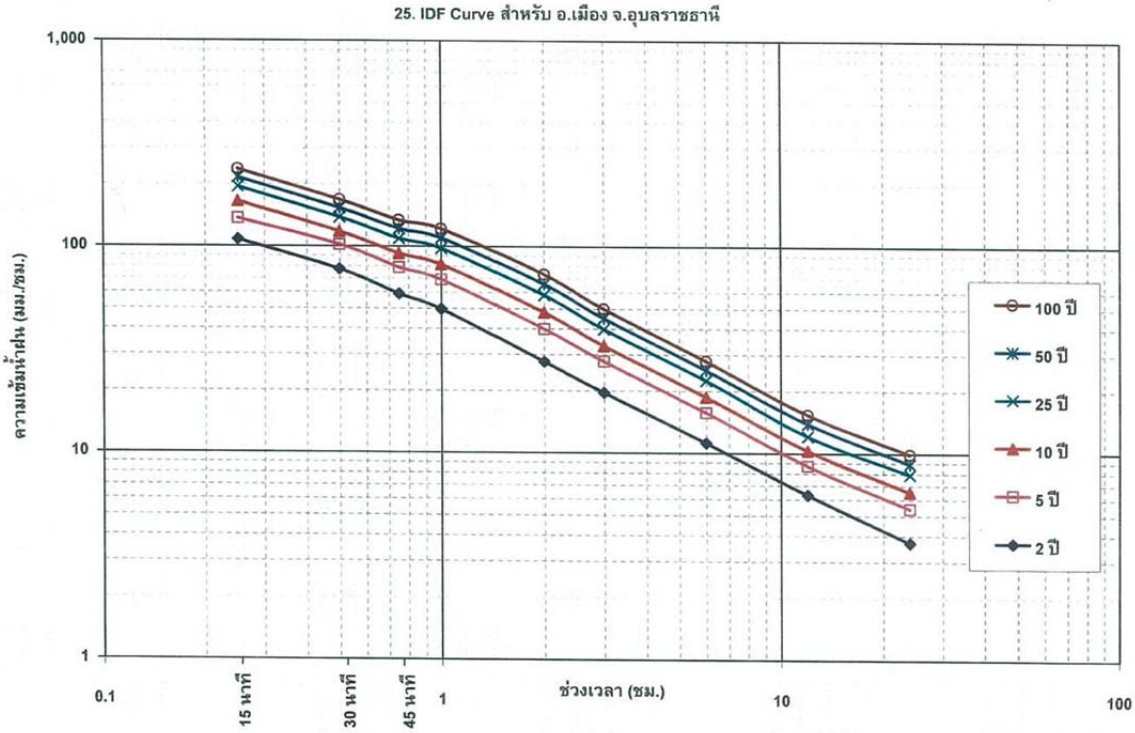
23. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด



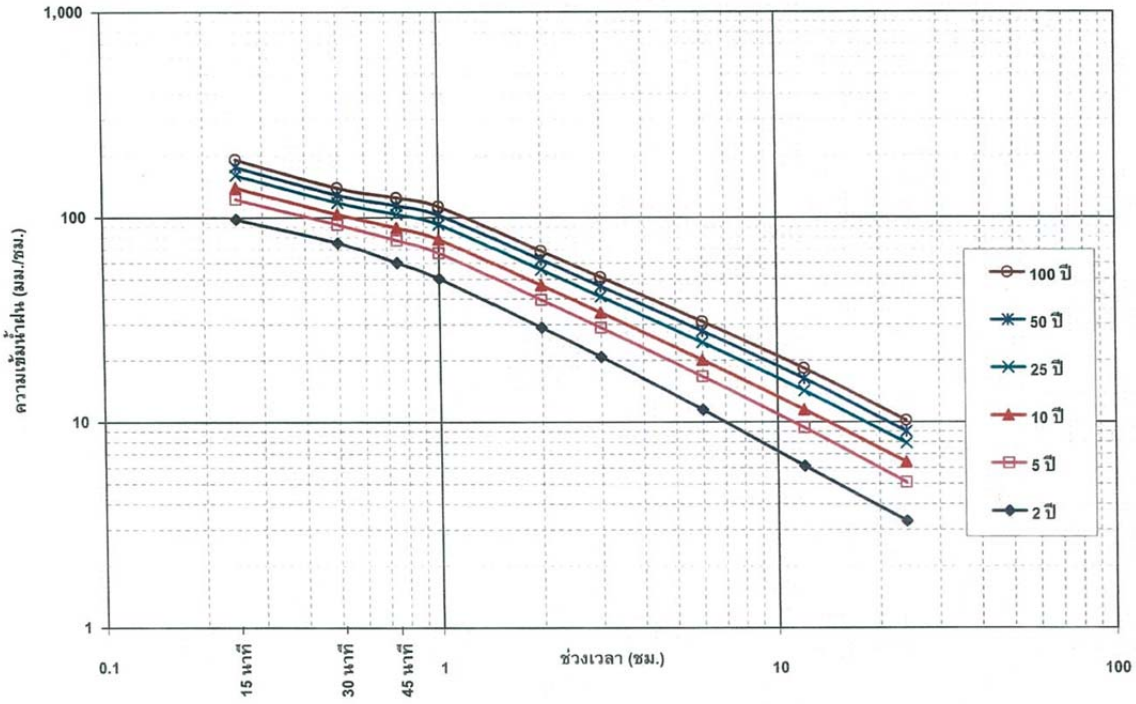
24. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.มุกดาหาร



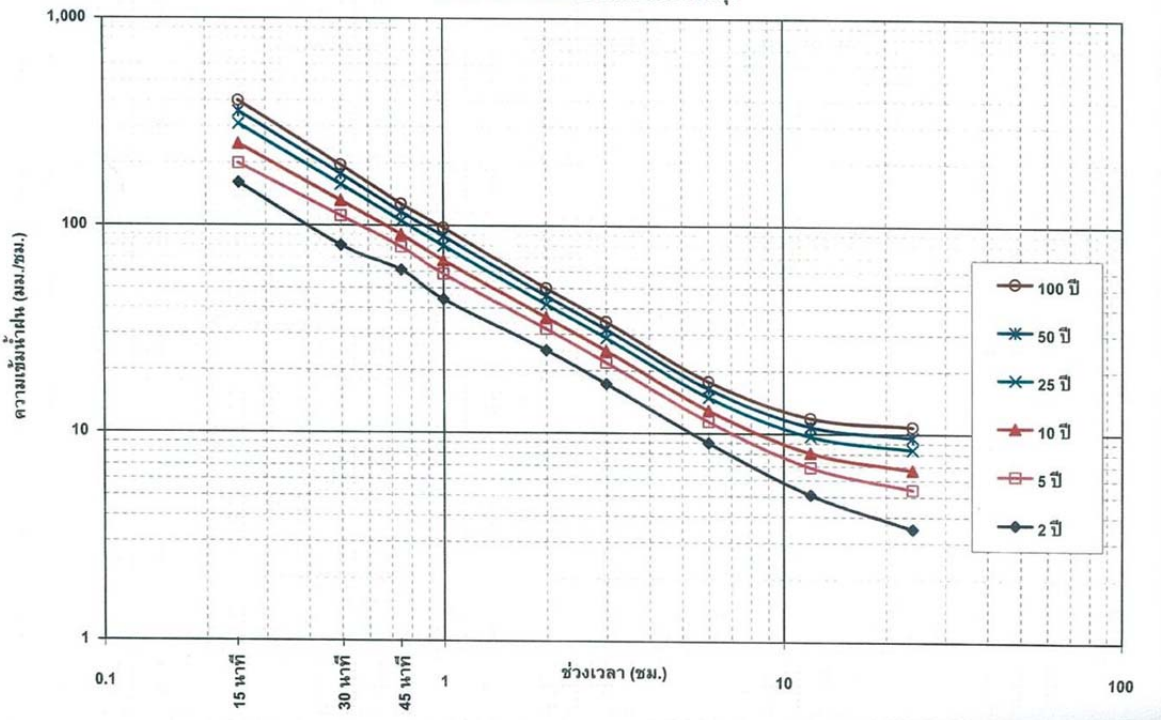
25. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.อุบลราชธานี



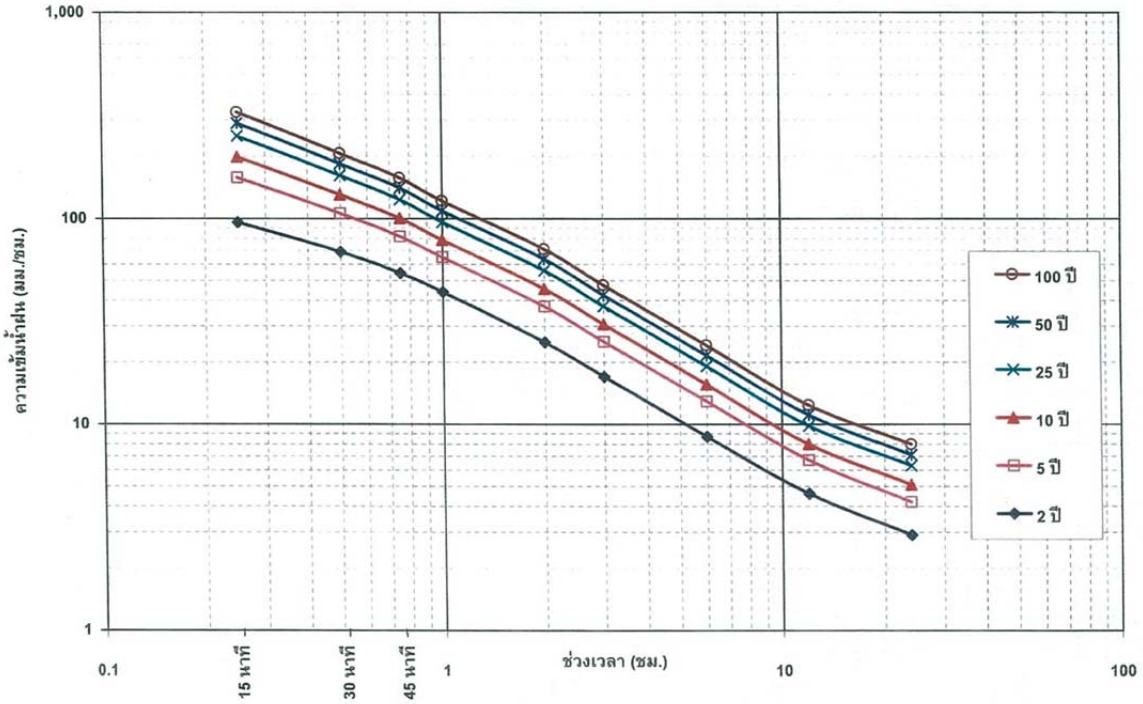
26. IDF Curve สำหรับ อ.สนามชัยเขต จ.ฉะเชิงเทรา



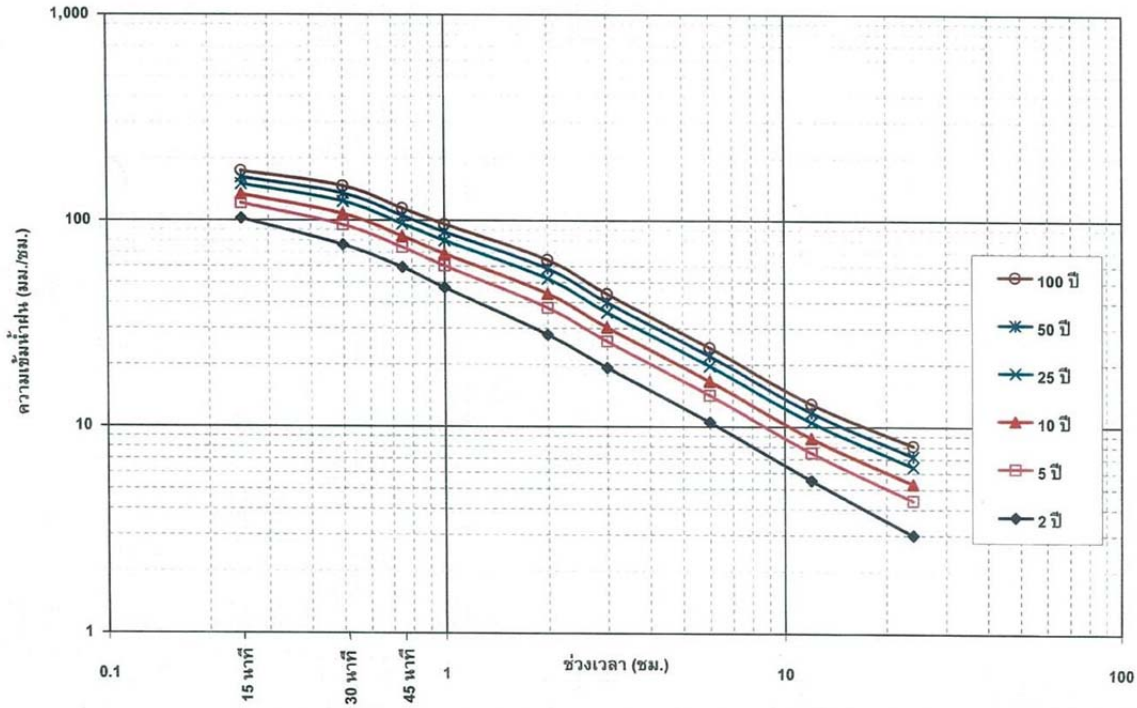
27. IDF Curve สำหรับ อ.เกาะสีชัง จ.ชลบุรี



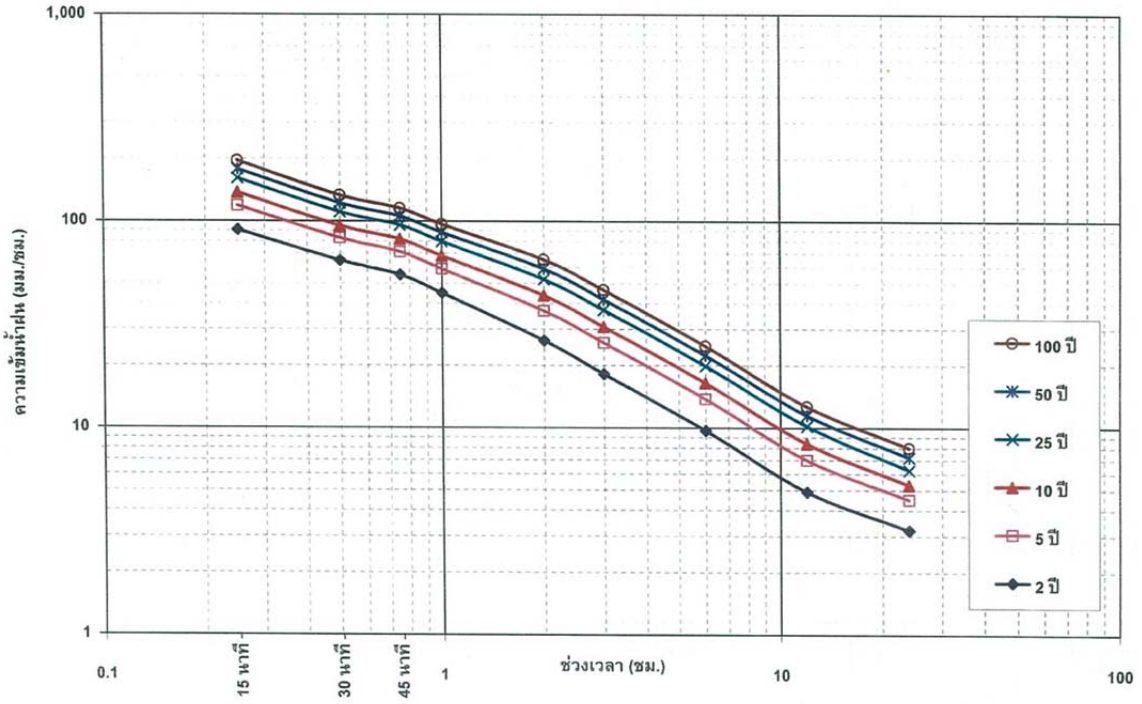
28. IDF Curve สำหรับเมืองพัทยา จ.ชลบุรี



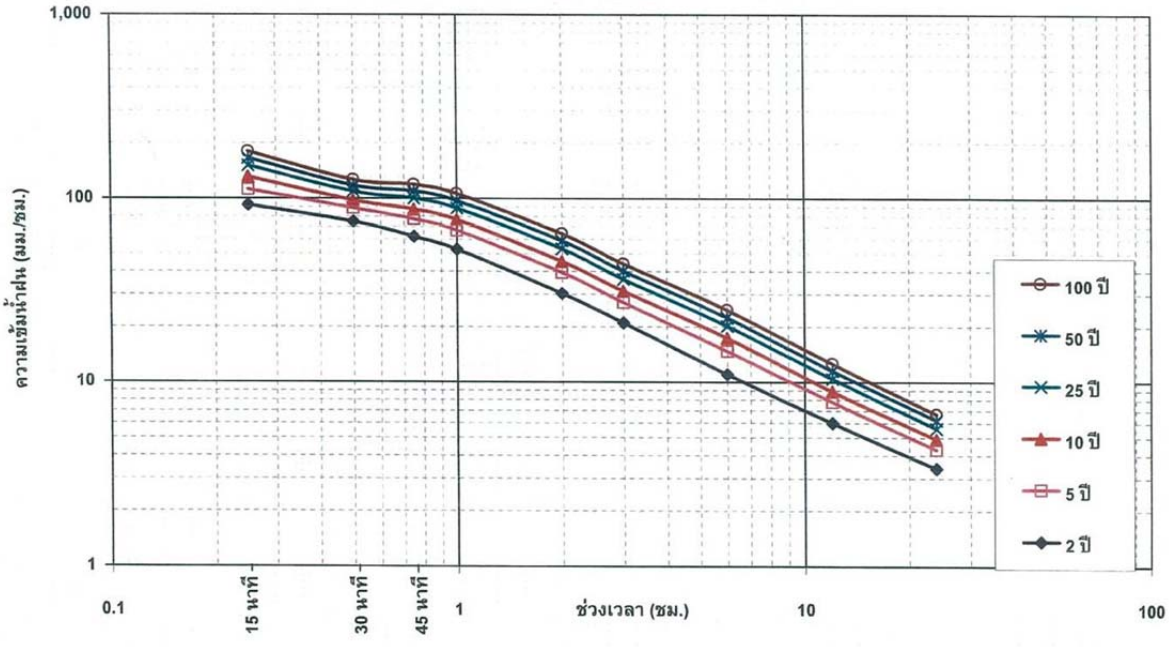
29. IDF Curve สำหรับ อ.ปลวกแดง จ.ระยอง



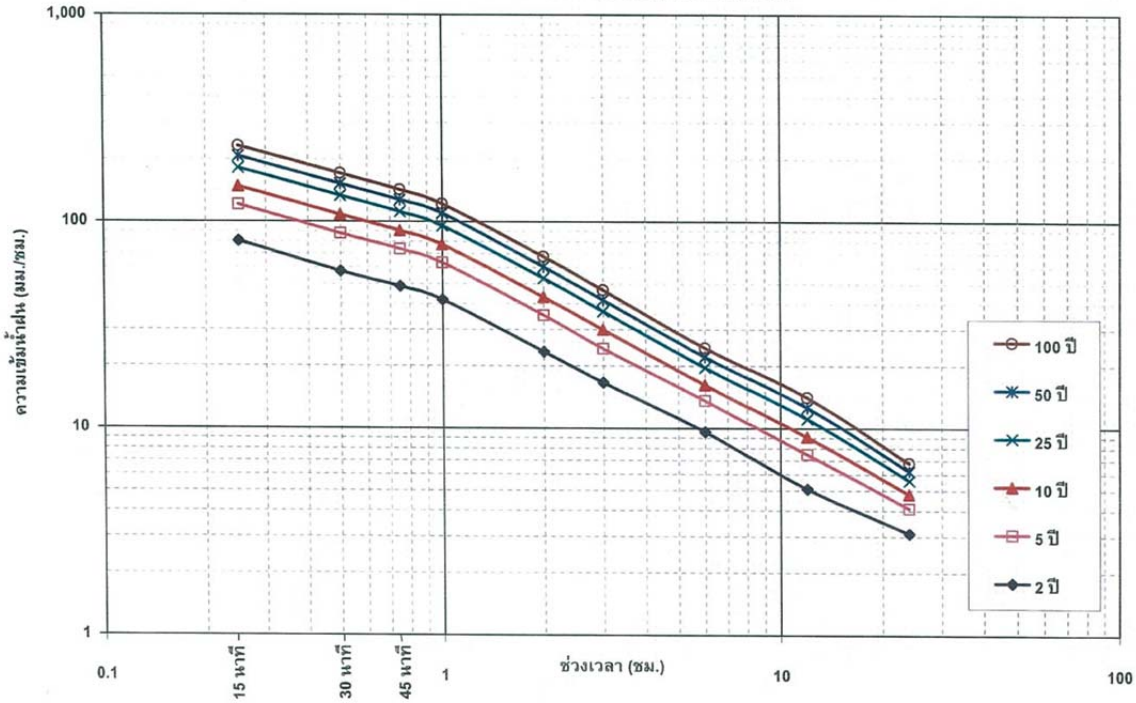
30. IDF Curve สำหรับ อ.แกลง จ.ระยอง



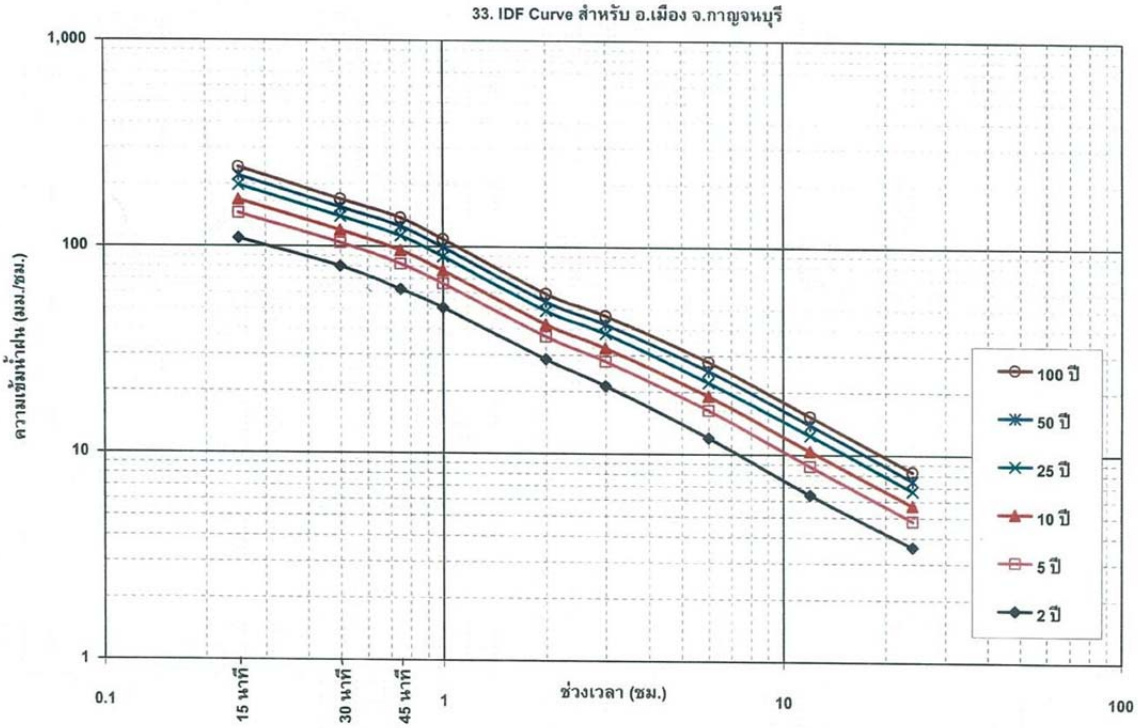
31. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ระยอง



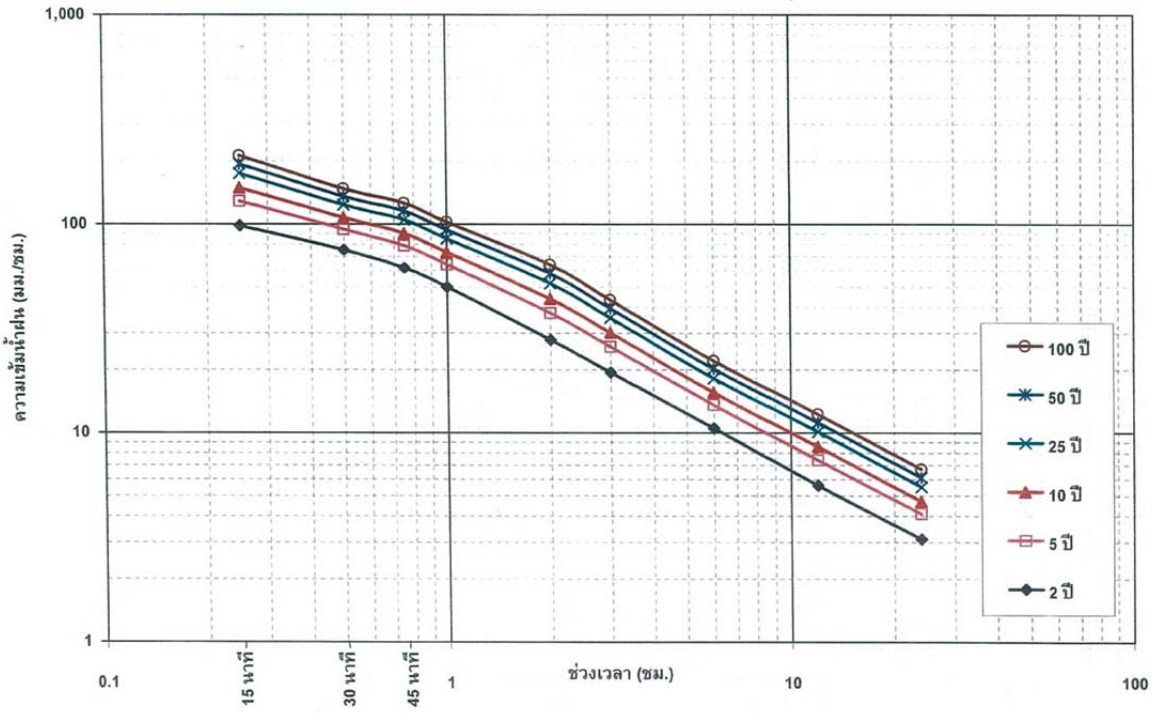
32. IDF Curve สำหรับ อ.อรัญประเทศ จ.สระแก้ว



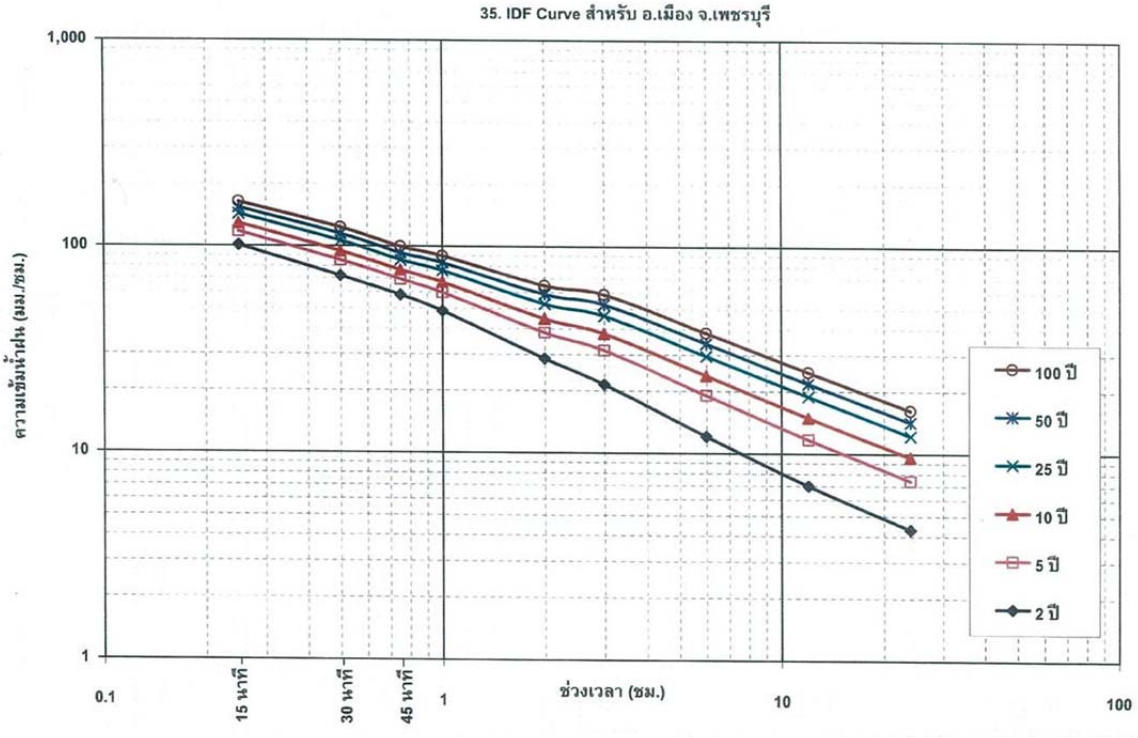
33. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.กาญจนบุรี



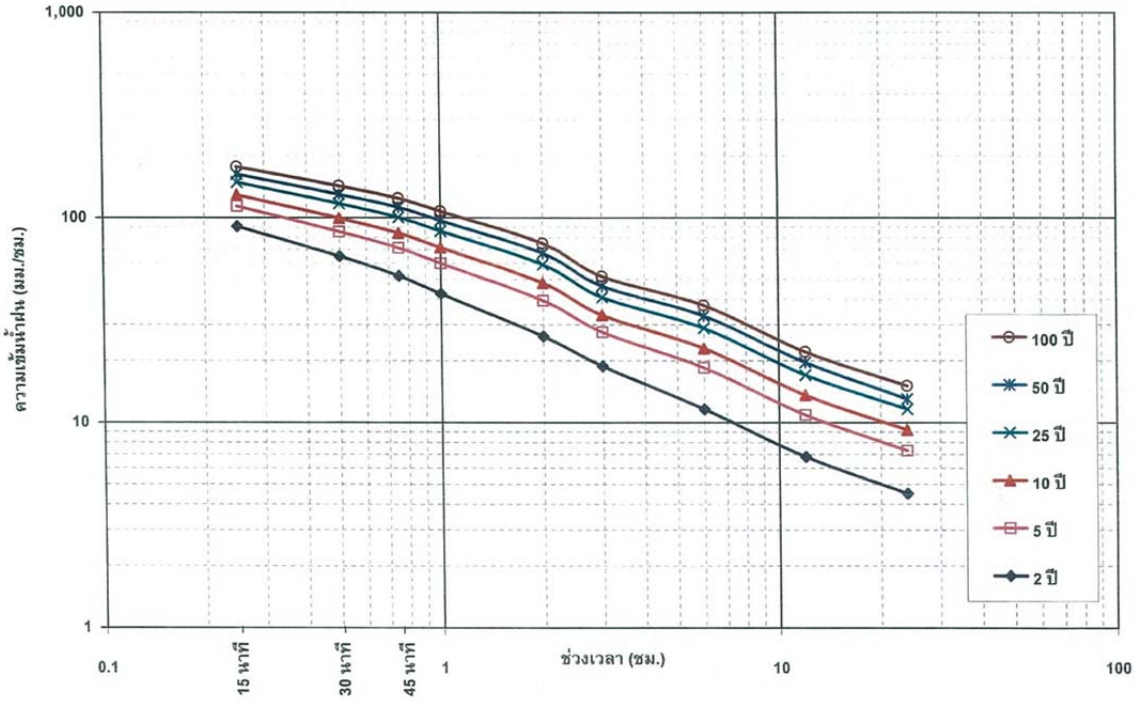
34. IDF Curve สำหรับ อ.บ่อพลอย จ.กาญจนบุรี



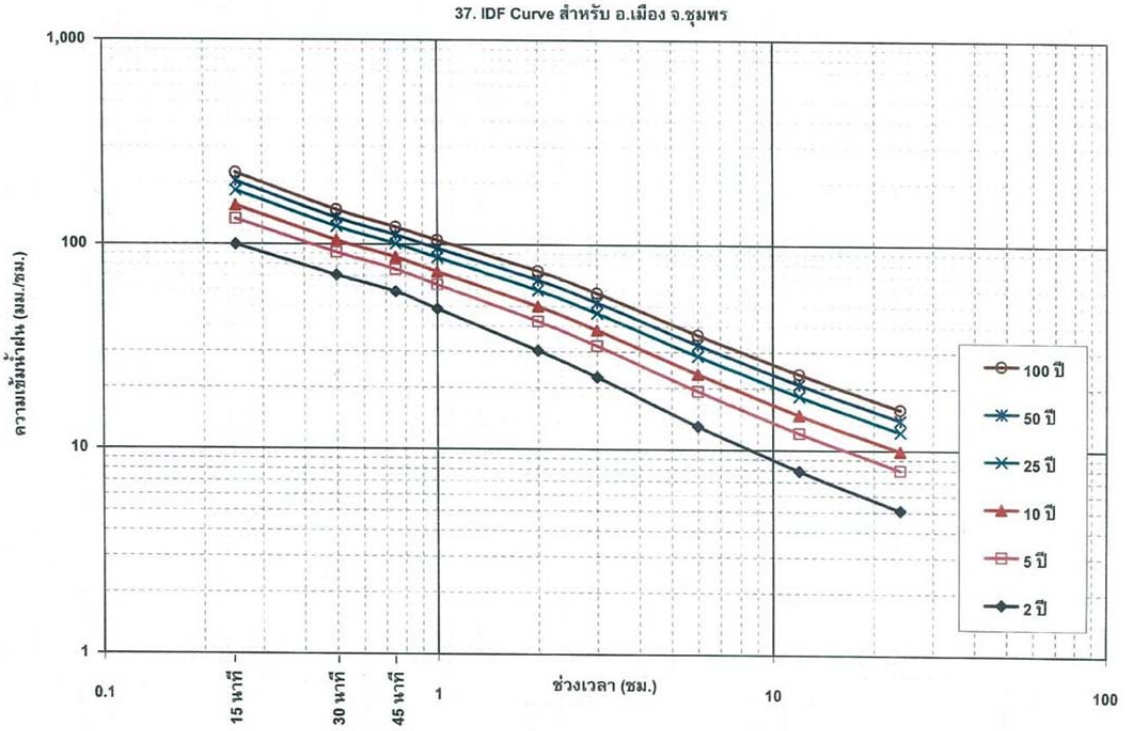
35. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.เพชรบุรี



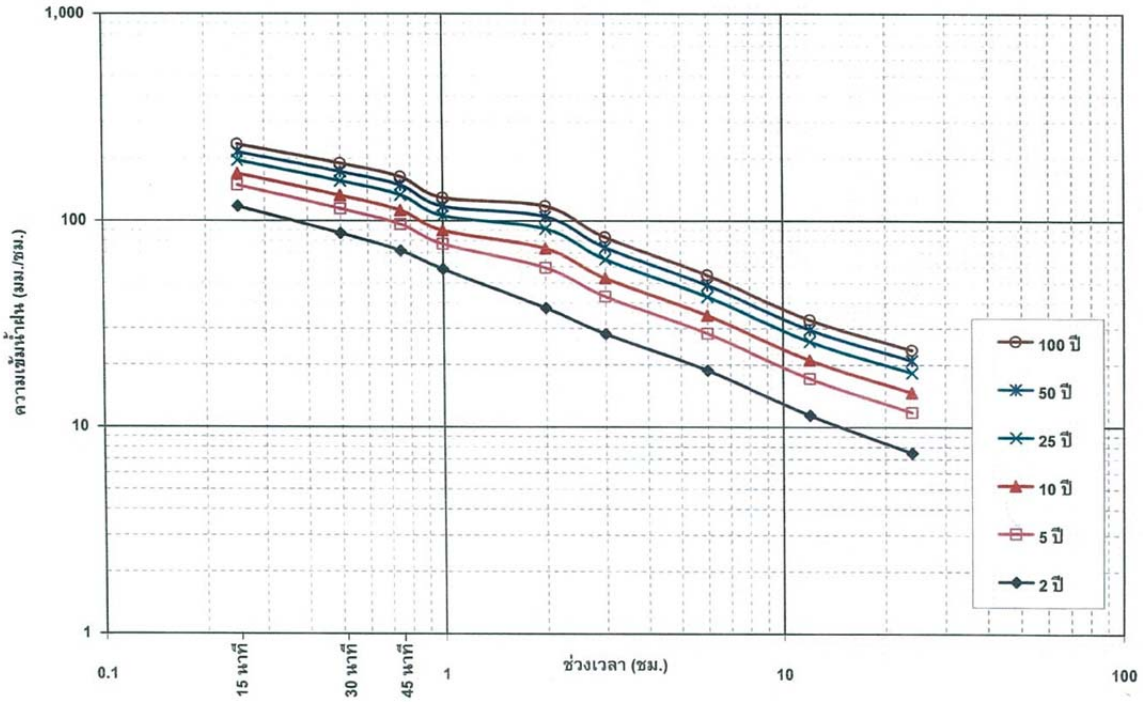
36. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์



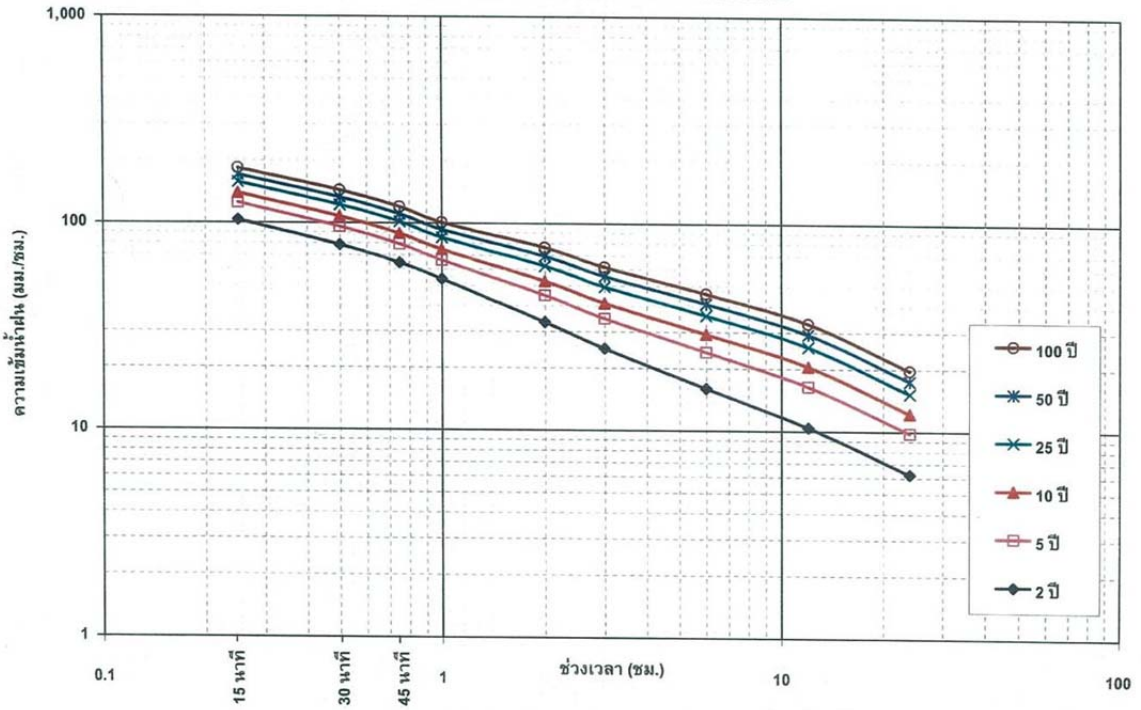
37. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ชุมพร



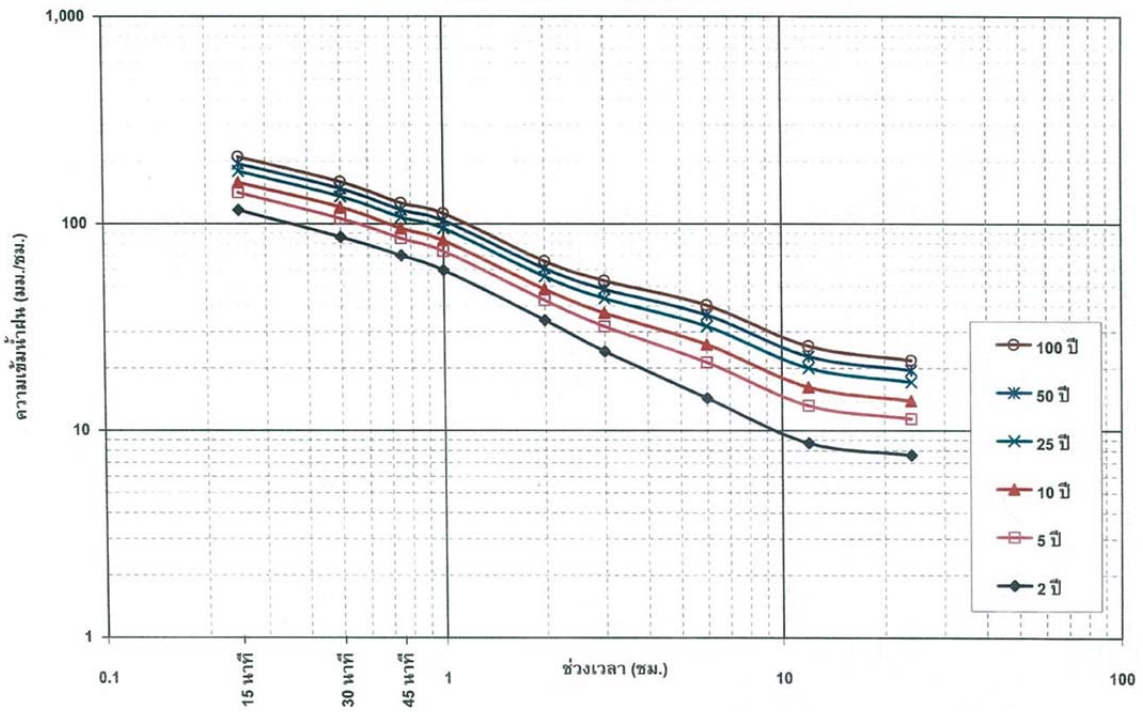
38. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.นครศรีธรรมราช



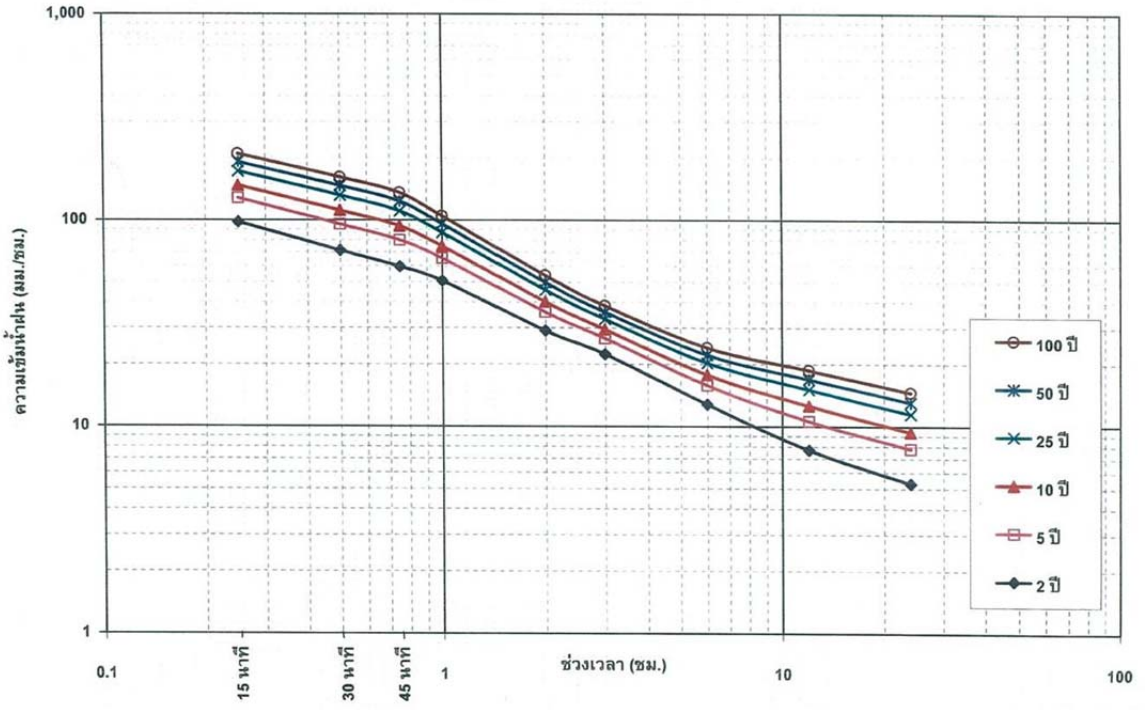
39. IDF Curve สำหรับ อ.ลานสกา จ.นครศรีธรรมราช



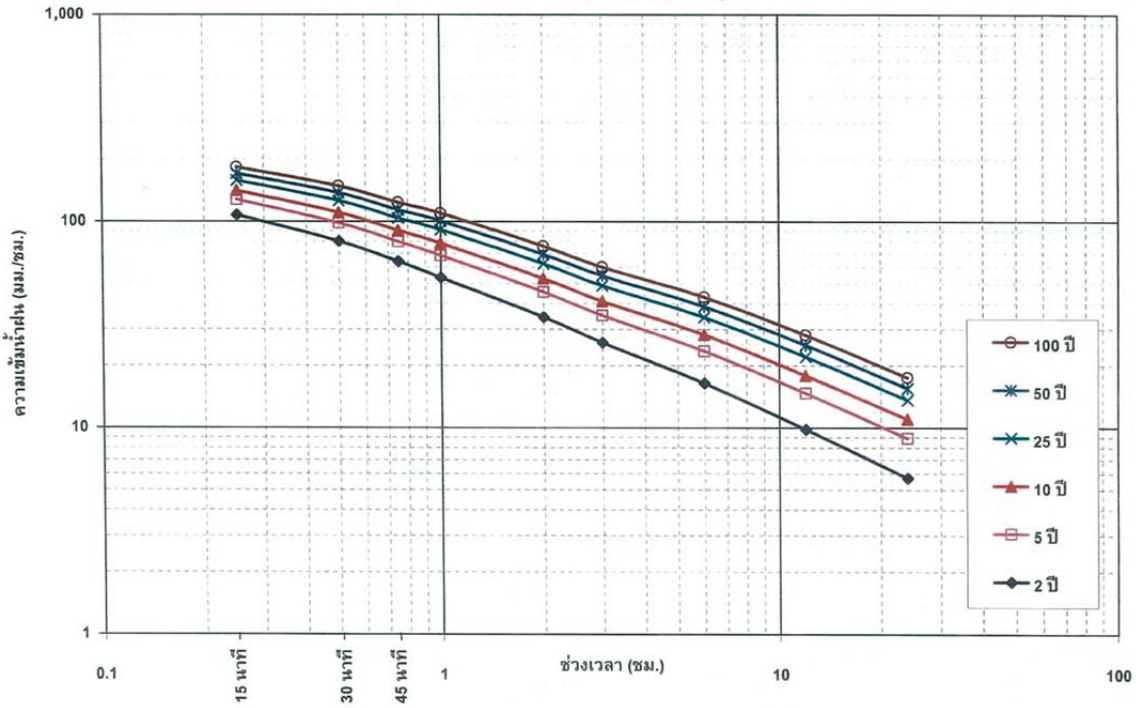
40. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.นราธิวาส



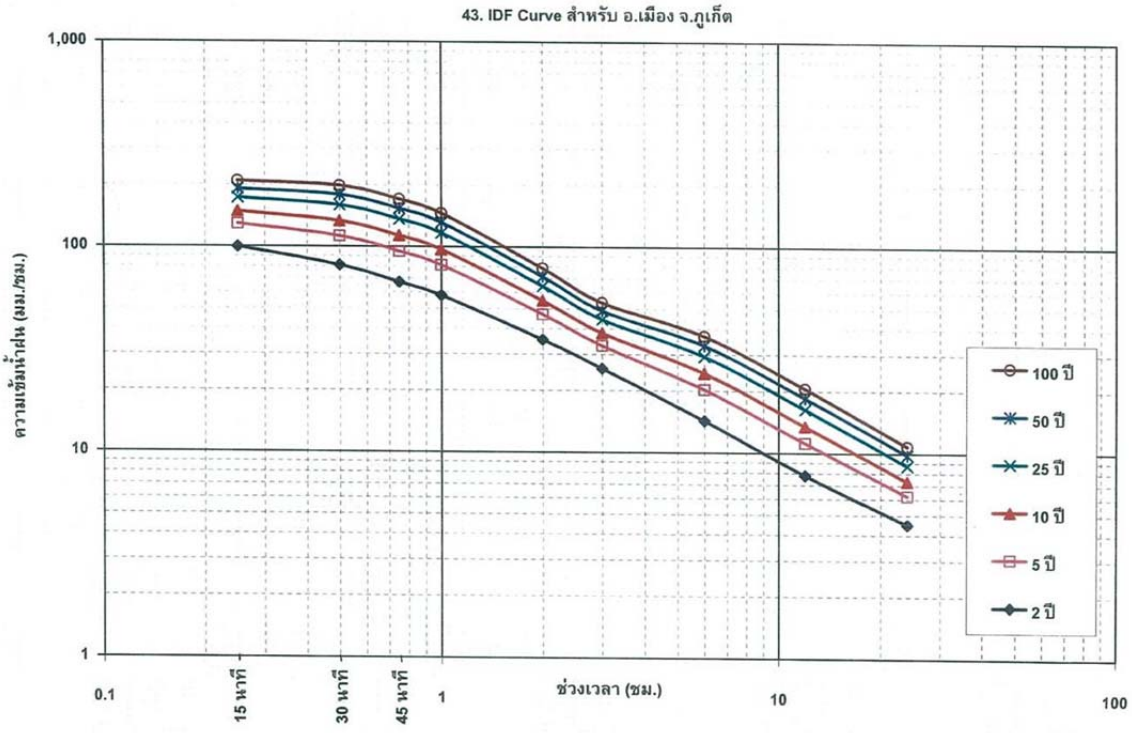
41. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ปัตตานี



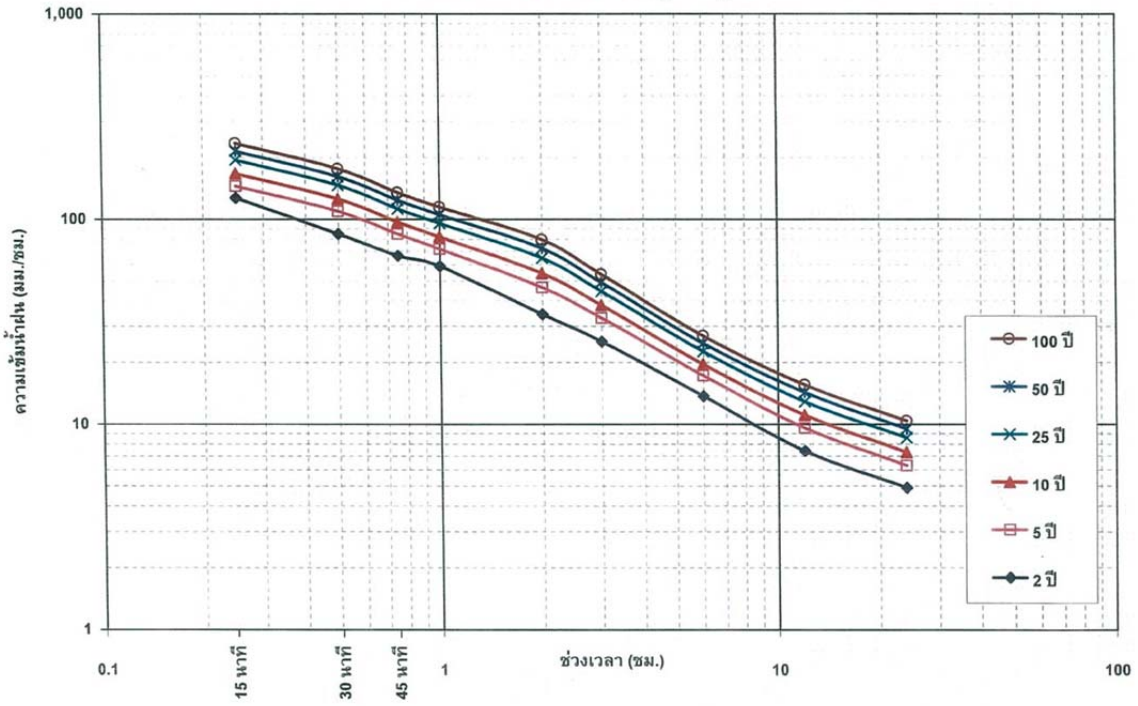
42. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.พัทลุง



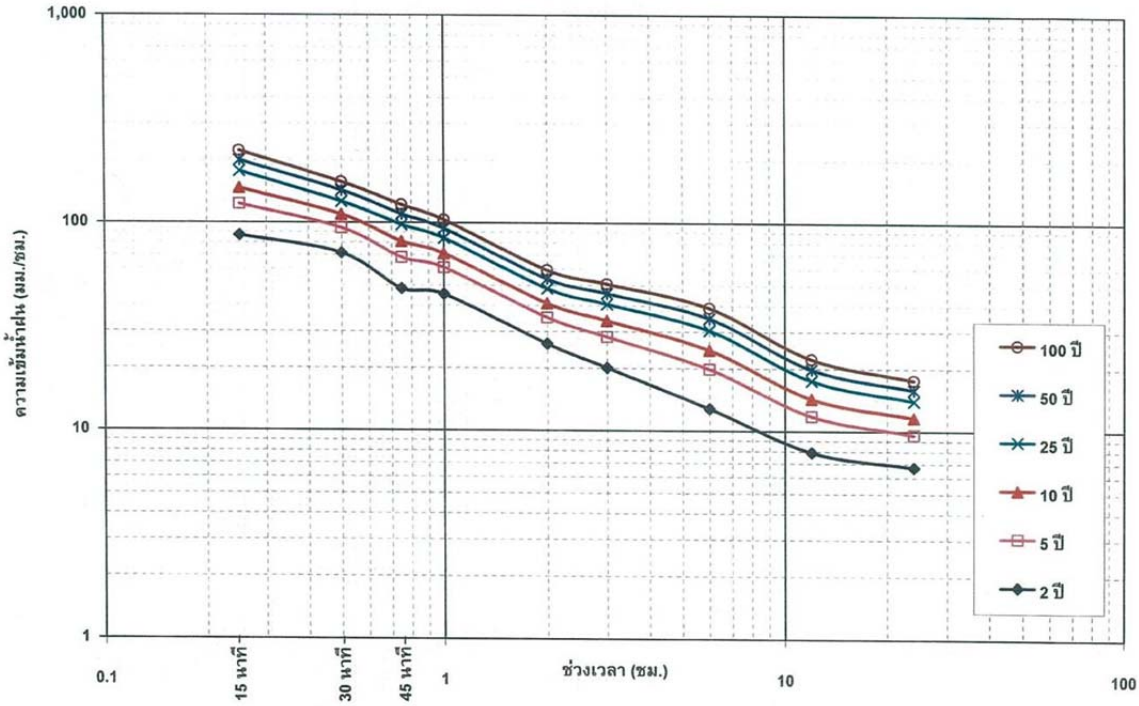
43. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ภูเก็ต



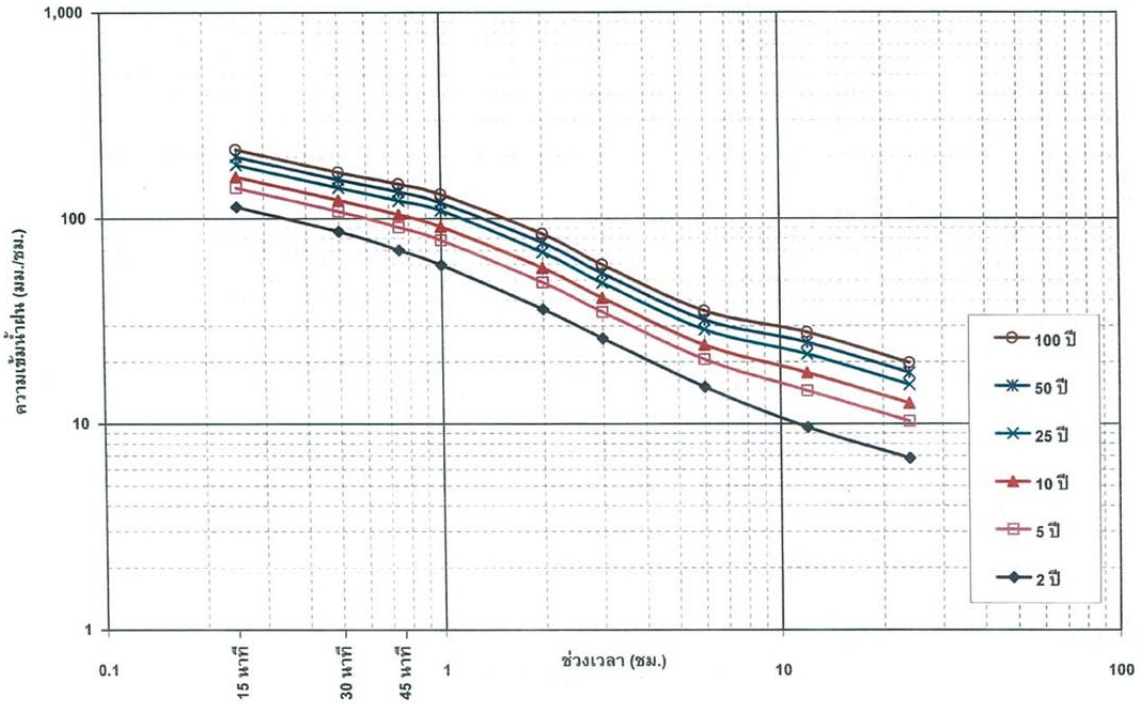
44. IDF Curve สำหรับ สนามบินภูเก็ต จ.ภูเก็ต



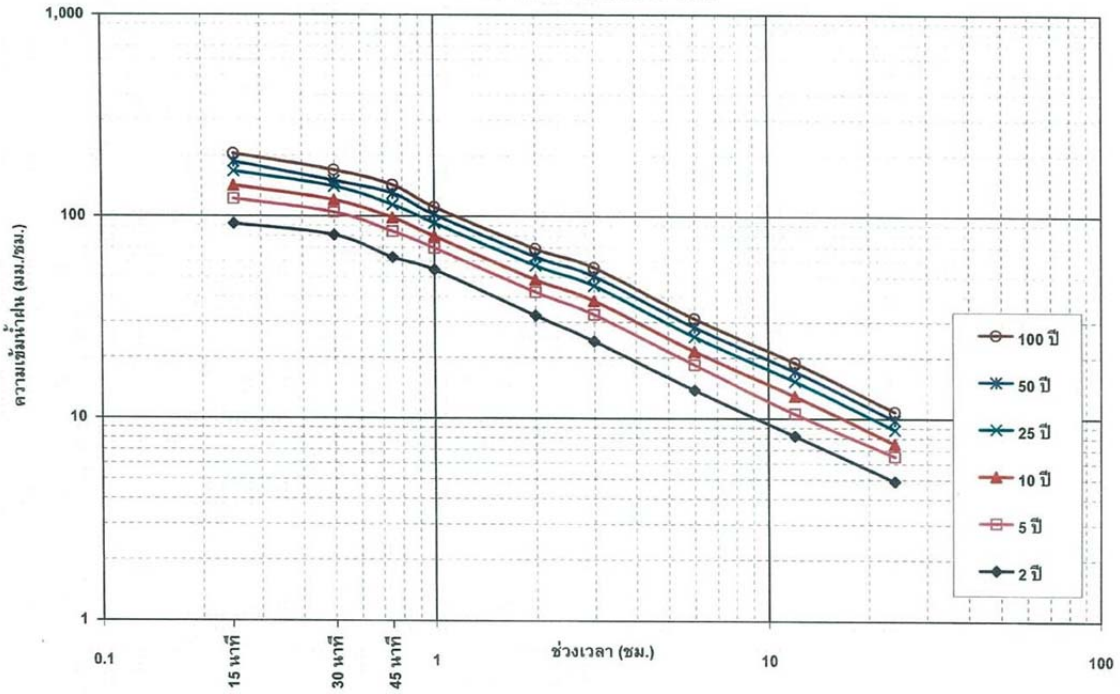
45. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ระนอง



46. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.สงขลา



47. IDF Curve สำหรับ อ.เมือง จ.ตรัง



ภาคผนวก ค

ความต้องการน้ำ

ความต้องการน้ำ

ข้อมูลการใช้น้ำสำหรับอุปโภคบริโภค ปศุสัตว์ ได้จากประกาศขององค์การอนามัยโลก(WHO) มีดังต่อไปนี้

คน	
- ใช้ในบ้าน	100 ลิตร/คน/วัน
ปศุสัตว์	
- ม้า พ่อ โค	45 ลิตร/ตัว/วัน
- กระบือ	50 ลิตร/ตัว/วัน
- โคนม(ใช้ดื่ม)	57 ลิตร/ตัว/วัน
- โคนม(ใช้ดื่มและการรีดนม)	132 ลิตร/ตัว/วัน
- สุกร	20 ลิตร/ตัว/วัน
- แกะ	8 ลิตร/ตัว/วัน
- เป็ด-ไก่	0.15 ลิตร/ตัว/วัน
- ไก่งวง	0.26 ลิตร/ตัว/วัน

องค์การ ECAFE ได้จัดทำข้อมูลด้านกสิกรรมเกี่ยวกับการใช้น้ำของพืชสำหรับประเทศไทยพอสรุปได้ดังนี้

พืช	เซนติเมตร/ฤดู
- ข้าวปักดำ	80-120
- ข้าวโพด	36-41
- ถั่วลิสง	41-51
- งา	53
- ถั่วเหลือง	30-36
- ธัญพืช	38-41
- ปอกระเจา	61-71
- ปอชวา	30-46
- ฝ้าย	50-89
- อ้อย	160-188
- พืชตระกูลถั่ว	30-61
- ผัก	41-51

เอกสารอ้างอิง

1. คู่มือเกณฑ์การสำรวจเพื่อการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เอกสารหมายเลข สพน.021 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ พฤษภาคม 2546
2. คู่มือเกณฑ์กำหนดการออกแบบโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เอกสารหมายเลข สพน.053 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ เมษายน 2550
3. หลักเกณฑ์มาตรฐานการคำนวณราคากลางโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ
4. มาตรฐานการเขียนแบบงานแหล่งน้ำ เอกสารหมายเลข สพน. 019 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ เมษายน 2546
5. คู่มือการปฏิบัติงาน(Work Manual) กระบวนการงานออกแบบโครงการชลประทาน สำนักชลประทานที่ 11 กรมชลประทาน 18 กุมภาพันธ์ 2553
6. การจัดการก่อสร้างงานทำนบดิน ฝ่ายรถแทรคเตอร์ที่ 7 ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องจักรกลที่ 7 สำนักเครื่องจักรกล กรมชลประทาน
7. ธนัช สุขวิมลเสรีและเฉลิมชนม์ สถิระพจน์ การประเมินความถูกต้องของค่าความสูงออร์โทเมตริกจากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS(ACCURACY ASSESSMENT OF GPS-DERIVED ORTHOMETRIC HEIGHTS)
8. ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี วิศวกรรมชลศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545
9. ฉลอง เกิดพิทักษ์ ชลศาสตร์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
10. วราวุธ วุฒิวณิชย์ การออกแบบอาคารบังคับน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11. US. Bureau of Reclamation Design of Small Dams, A Water Resources Technical Publication, Denver Colorado, USA, 1974
12. US. Bureau of Reclamation Design of Small Canal Structures, A Water Resources Technical Publication, Denver Colorado, USA, 1978