



สำนักวิจัยและพัฒนาทาง
กรมทางหลวง

โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนน เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมฉับพลันเนื่องจากถนนขวางทางน้ำ

รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report)

ธันวาคม 2560





สารบัญ

	หน้า
1. บทนำ.....	1-1
1.1. ความเป็นมาโครงการ.....	1-1
1.2. วัตถุประสงค์โครงการ.....	1-3
1.3. ขอบเขตการดำเนินงาน.....	1-4
1.4. องค์ประกอบของรายงานฉบับสมบูรณ์.....	1-7
2. ทฤษฎีและกรอบแนวคิดในการออกแบบอาคารระบายน้ำ	2-1
2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ.....	2-1
2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ	2-37
2.3. การออกแบบอาคารระบายน้ำในต่างประเทศ.....	2-41
2.4. สรุปผลการทบทวนวรรณกรรมและแนวทางการนำไปใช้.....	2-55
3. วิธีการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง	3-1
3.1. วิธี Rational Method.....	3-2
3.2. วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph).....	3-12
3.3. วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis)	3-16
3.4. วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph).....	3-20
3.5. สรุปข้อเด่นและข้อจำกัดของการออกแบบอัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีการต่างๆ.....	3-25
4. แบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำของหน่วยงานในประเทศ	4-1
4.1. กรมทางหลวง	4-1
4.2. กรมทางหลวงชนบท	4-3
4.3. กรมชลประทาน	4-4
4.4. กรมทรัพยากรน้ำ	4-5
4.5. สรุปเปรียบเทียบแบบมาตรฐานท่อลอดและอาคารระบายน้ำผ่านถนนของหน่วยงานต่างๆ.....	4-6



สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.	การคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง.....	5-1
5.1.	การรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	5-2
5.2.	การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	5-9
5.3.	หลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา.....	5-13
5.4.	ผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง.....	5-14
6.	การสำรวจและการรวบรวมข้อมูล.....	6-1
6.1.	การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลด้านอุทกวิทยา.....	6-1
6.2.	การจัดหาข้อมูลสภาพภูมิประเทศ.....	6-13
6.3.	การสำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ.....	6-19
6.4.	การจัดหาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม.....	6-36
7.	การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง.....	7-1
7.1.	แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....	7-1
7.2.	การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในพื้นที่ศึกษานำร่อง.....	7-35
7.3.	การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	7-60
8.	การเสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำ.....	8-1
8.1.	การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด.....	8-2
8.2.	การเปรียบเทียบสมการการไหลสูงสุดของน้ำท่า.....	8-33
8.3.	การจัดทำแบบแนะนำการก่อสร้างของอาคารระบายน้ำ.....	8-48
8.4.	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบก่อสร้างแนะนำ.....	8-64
9.	การฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี.....	9-1
9.1.	การจัดประชุมอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี.....	9-1
9.2.	ผลการจัดประชุม.....	9-3



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
10. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	10-1
10.1. สรุปผลการดำเนินงาน	10-1
10.2. ข้อเสนอแนะ	10-2

ภาคผนวก

- ภาคผนวก ก. รายการคำนวณการจัดทำแบบแนะนำ
- ภาคผนวก ข. เอกสารประกอบการประชุมถ่ายทอดเทคโนโลยี
- ภาคผนวก ค. รายละเอียดการปรับปรุงอาคารระบายน้ำ
- ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการ
- ภาคผนวก จ. รายการการส่งงาน



บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำ

1.1. ความเป็นมาโครงการ

ปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากภัยพิบัติเป็นประจำทุกปี ซึ่งภัยพิบัติที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งได้ทวีความรุนแรงและได้สร้างความเสียหายมากยิ่งขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะภัยพิบัติที่เกิดจากอุทกภัยสาเหตุหลักส่วนหนึ่งของปัญหาเป็นผลมาจากการพัฒนาเศรษฐกิจ ตลอดจนการเพิ่มจำนวนของประชากร ทำให้เกิดการรुक้าทางน้ำ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ดังนั้นเมื่อเกิดฝนตกหนักต่อเนื่อง ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนเป็นน้ำท่า (Surface Runoff) จึงมีมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่มีถนนตัดผ่าน ซึ่งถ้าระบบระบายน้ำโดยเฉพาะอาคารระบายน้ำมีขนาดเล็กหรือไม่เพียงพอ ก็จะทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก สร้างความเดือดร้อนให้แก่ประชาชน รวมถึงส่งผลเสียหายต่อชิ้นโครงสร้างทางชำรุดได้

ที่ผ่านมาการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำผ่านถนนของกรมทางหลวงนั้น วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า ใช้วิธีที่อยู่ในลักษณะของสมการหรือความสัมพันธ์และ/หรือกราฟ ซึ่งสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก ยกตัวอย่างเช่น วิธี Rational Method วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) เป็นต้น ซึ่งการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น จะมีข้อจำกัดในกรณีที่พื้นที่รับน้ำฝนเป็นพื้นที่ที่พัฒนาเป็นเขตเมืองหรืออยู่ในพื้นที่ราบที่มีการพัฒนาโครงข่ายระบบระบายน้ำที่แตกต่างกันไปจากธรรมชาติ ทำให้ยากต่อการกำหนดขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนที่เหมาะสม จึงส่งผลให้การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำเกิดความผิดพลาดได้เช่นกัน ดังนั้นการคำนวณอัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ลักษณะนี้จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลทางกายภาพ รวมถึงโครงข่ายระบบระบายน้ำภายในพื้นที่อย่างละเอียด และการเก็บข้อมูลปัจจัยสำคัญทุกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการไหลสูงสุดของน้ำ ซึ่งเหล่านี้เป็นกระบวนการที่ค่อนข้างยุ่งยากเกินกว่าจะใช้วิธีการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมกว่าคือ การจำลองลักษณะทางกายภาพของระบบระบายน้ำและกักเก็บน้ำบนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า



กรมทางหลวง ได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากที่มักถูกประชาชน ร้องเรียนว่าถนนขวางทางน้ำเนื่องจากการระบายน้ำไม่เพียงพอ จึงได้พิจารณาจัดทำโครงการศึกษาปรับปรุงการ ระบายน้ำของถนนเพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำขึ้น โดยในขั้นตอนแรกจะทำการวิเคราะห์ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากมาเป็นพื้นที่ศึกษา เพื่อทำการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม จากนั้น จึงทำการวิเคราะห์อย่างละเอียดในพื้นที่ที่ได้มีการคัดเลือกไว้ เพื่อให้ทราบถึงสภาพข้อเท็จจริงของศักยภาพในการ ระบายน้ำบนทางหลวง ตำแหน่งวิกฤตของการระบายน้ำผ่านถนน ตลอดจนปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ และเมื่อทราบปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการ ระบายน้ำแล้ว จะได้นำมาเป็นข้อมูลประกอบในการออกแบบอาคารระบายน้ำให้แม่นยำและสอดคล้องกับพื้นฐานของ ข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่แท้จริงของพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อให้การแก้ไขและบรรเทาปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในบริเวณที่ทาง หลวงตัดผ่านมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากขึ้น



1.2. วัตถุประสงค์โครงการ

กรมทางหลวงมีความประสงค์ที่จะว่าจ้าง “ที่ปรึกษา” เพื่อให้บริการในโครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนน เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์ประกอบด้วย

- 1) ศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง บนพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากในพื้นที่ภาคกลางจำนวน 11 แห่ง โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 2) เสนอแนะแนวทางในการออกแบบอาคารระบายน้ำให้สอดคล้องกับลักษณะพื้นฐานทางกายภาพบริเวณพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก



1.3. ขอบเขตการดำเนินงาน

สำหรับขอบเขตการดำเนินงานของโครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนน เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำซึ่งกำหนดไว้ในรายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) มีรายละเอียดดังนี้

1) งานทบทวนวรรณกรรม

- 1.1 ศึกษา ทบทวน และรวบรวมข้อมูลรวมทั้งทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ ตลอดจนแบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวง และ/หรือ หน่วยราชการอื่นที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 3 หน่วยงาน
- 1.2 ศึกษา ทบทวน ทฤษฎี แนวคิดและวิธีการออกแบบระบบระบายน้ำในต่างประเทศที่พบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก และเป็นประเทศที่มีความเชี่ยวชาญ
- 1.3 ศึกษา ทบทวน วิธีการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวง อาทิเช่น วิธี Rational Method วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) เป็นต้น ว่ามีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติอย่างไร

2) งานคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

- 2.1 รวบรวมข้อมูลแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากของประเทศไทย จากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากบนทางหลวงทั่วประเทศ
- 2.2 ศึกษาสภาพปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากปัญหาการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวงในปัจจุบัน รวมถึงการศึกษาปัจจัยสำคัญทั้งในเขตทางหลวง และนอกเขตทางหลวง ที่อาจส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำท่วมดังกล่าว
- 2.3 คัดเลือกพื้นที่ศึกษาในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากบนพื้นที่ภาคกลางอย่างน้อย 11 แห่ง โดยมีขนาดพื้นที่เฉลี่ยต่อแห่งไม่ต่ำกว่า 200 ตารางกิโลเมตร สำหรับการสำรวจและวิเคราะห์รายละเอียด โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยพื้นที่ที่จะคัดเลือกต้องเป็นพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมซ้ำซากที่สำคัญของประเทศ และที่ปรึกษาจะต้องเสนอแนะแนวทาง/ปัจจัยในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาเพื่อประกอบการตัดสินใจของคณะกรรมการกำกับโครงการ ทั้งนี้การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาจะต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการกำกับโครงการก่อน

3) ความก้าวหน้างานศึกษาพฤติกรรมอาคารระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

- 3.1 รวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา ได้แก่ขนาดพื้นที่รับน้ำ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลระดับน้ำของสถานีต่างๆ เป็นต้น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ บนพื้นที่ศึกษา



- 3.2. จัดทำข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ความลาดชันพื้นที่ ผังเมือง และสภาพการใช้ที่ดิน ได้แก่ ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขขนาด 1:4,000 (Digital Elevation Model, DEM) จำนวน 550 ไร่ ข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินขนาด 1:25,000 จำนวน 11 แห่ง และ ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์อื่น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์หาพื้นที่ศึกษา
- 3.3. สำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ (Topographic Survey) รวมถึงการสำรวจตำแหน่ง ขนาด หรือ มิติของระบบระบายน้ำ โดยเฉพาะโครงข่ายอาคารระบายน้ำของทุกหน่วยงาน ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งรวมถึงการสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง/ตัดแปลงระบบระบายน้ำเดิมเนื่องจากการพัฒนาพื้นที่หรือการดำเนินการอื่นที่ทำให้ระบบระบายน้ำแตกต่างไปจากระบบระบายน้ำตามธรรมชาติ และการสำรวจข้อมูลอื่นที่คณะกรรมการกำกับโครงการเห็นว่าจำเป็นสำหรับการศึกษา เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์หา พื้นที่ศึกษา
- 3.4. ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา 11 แห่ง ภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน (รูปแบบของขนาดและจำนวนอาคารระบายน้ำ ตามผลการสำรวจในปัจจุบัน) โดยที่ปรึกษาจะต้องปรับความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Verification) ในแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม RadarSat2 หลังจากได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ปรับความถูกต้องแล้วที่ปรึกษาจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม RadarSat2 ในอีกปีพ.ศ.หนึ่งที่เกิดน้ำท่วม (รวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม Radarsat 2 ที่ต้องจัดหาจำนวนทั้งสิ้น 22 รูป)
- 3.5. ผลจากการวิเคราะห์ ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 11 แห่ง ที่ปรึกษาจะต้องทำการศึกษา/วิเคราะห์ดังนี้
 - (3.5.1) วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในแต่ละพื้นที่ อาทิเช่น สภาพการใช้ที่ดิน ระบบระบายน้ำในชุมชน เป็นต้น แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญที่อาจเป็นปัจจัยร่วมในทุกสภาพพื้นที่ และปัจจัยใดเป็นปัจจัยสำคัญเฉพาะบางพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อนำมาเป็นข้อเสนอแนะทางในการปรับปรุงสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำทำให้เหมาะสมยิ่งขึ้น



- (3.5.2) จากปัจจัยสำคัญที่อาจส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในแต่ละพื้นที่ตามข้อ (3.5.1) ที่ปรึกษาจะต้องวิเคราะห์แยกเป็นปัจจัยในเขตทางหลวงและปัจจัยนอกเขตทางหลวง ในแต่ละพื้นที่ศึกษาทั้ง 11 แห่ง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของแต่ละปัจจัยทั้งในเขตทางหลวงและนอกเขตทางหลวง เพื่อแสดงให้เห็นว่าหากแก้ไขปัจจัยเฉพาะบางปัจจัยหรือแก้ไขทุกปัจจัย จะสามารถบรรเทาปัญหาน้ำท่วมในแต่ละพื้นที่ได้อย่างไร ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการเสนอแนวทางในการลดระดับความรุนแรงของปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในพื้นที่ดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและเป็นระบบ



1.4. องค์ประกอบของรายงานฉบับสมบูรณ์

ในรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนน เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 10 บท โดยแต่ละบทมีสาระสำคัญโดยสรุปดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ความเป็นมา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการดำเนินงานของโครงการ ตลอดจนสาระสำคัญโดยสรุปของเนื้อหาในรายงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและกรอบแนวคิดในการออกแบบอาคารระบายน้ำ เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำทั้งทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา ชลศาสตร์และทฤษฎีของแบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษาของโครงการ รวมทั้งยังได้มีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ รวมถึงแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำในต่างประเทศ และในหัวข้อสุดท้ายของบทนี้ได้ผลการทบทวนวรรณกรรมและแนวทางการนำไปใช้ในการศึกษาของโครงการ

บทที่ 3 วิธีการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ทฤษฎีการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของกรมทางหลวง ซึ่งปรากฏอยู่ใน “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง” โดยประกอบด้วยกัน 4 วิธี คือ 1) วิธี Rational Method 2) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) 3) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และ 4) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) และในตอนท้ายของเนื้อหาในบทนี้ได้มีการสรุปถึงข้อเด่นและข้อจำกัดในการออกแบบอาคารระบายน้ำของแต่ละวิธีตามที่กล่าวข้างต้น

บทที่ 4 แบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำของหน่วยงานต่างๆ ในประเทศ เนื้อหาในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการรวบรวมข้อมูลแบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำของหน่วยงานในประเทศ 4 หน่วยงาน ได้แก่ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ และในตอนท้ายของเนื้อหาในบทเปรียบเทียบแบบมาตรฐานของหน่วยงานต่างๆ

บทที่ 5 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง แนวทางการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษานำร่อง ตั้งแต่การรวบรวมข้อมูล การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาตลอดจนหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกพื้นที่ รวมทั้งได้อธิบายรายละเอียดและผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาตามปัจจัยของแต่ละหลักเกณฑ์ และสรุปผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่องที่จะทำการสำรวจข้อมูลภาคสนาม และนำมาศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

บทที่ 6 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล เนื้อหาในบทนี้ เป็นการนำเสนอผลการรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ในพื้นที่ศึกษานำร่อง โดยประกอบด้วย ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา การสำรวจข้อมูลภาคสนาม ตลอดจนการจัดหาข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ในพื้นที่โครงการ



บทที่ 7 การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง เนื้อหาในบทนี้ เป็นการแสดงผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำ โดยเนื้อหาได้อธิบายตั้งแต่ รายละเอียดของแบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษา การเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเพื่อประเมินปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่วมซ้ำซากและการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity) ของแต่ละปัจจัย

บทที่ 8 การเสนอแนะแนวทางการออกแบบ อาคารระบายน้ำ เนื้อหาในบทนี้ จะอธิบายตั้งแต่การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด จากนั้นจะเป็นการนำเสนอผลการเปรียบเทียบสมการการไหลสูงสุดที่ได้ปรับปรุงใหม่กับแนวทางการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่กรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งได้มีการนำเสนอแบบแนะนำการก่อสร้างอาคารระบายน้ำ เพื่อปรับปรุงการไหลผ่านอาคารระบายน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และในหัวข้อสุดท้าย ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำตามแบบการก่อสร้างที่ได้มีการแนะนำในพื้นที่ศึกษานำร่องทั้ง 11 พื้นที่ พร้อมทั้งเสนอแนะตำแหน่งที่ควรจะต้องมีการปรับปรุงอาคารระบายน้ำเพื่อบรรเทาปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก

บทที่ 9 การฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี เนื้อหาในบทนี้ เป็นการสรุปผลการดำเนินงาน การฝึกอบรมและถ่ายทอดองค์ความรู้ที่ได้จากผลการศึกษาของโครงการให้กับเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวง

บทที่ 10 บทสรุปและข้อเสนอแนะ เนื้อหาในบทนี้ เป็นการสรุปผลการดำเนินงานที่สำคัญของโครงการ ตลอดจนข้อเสนอแนะถึงแนวทางการนำผลการศึกษาของโครงการไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ตลอดจนแนวทางการปรับปรุงวิธีการดำเนินงาน หากมีการศึกษาวิจัยในลักษณะเดียวกันในอนาคต

นอกจากเนื้อหาในรายงานฉบับสมบูรณ์ตามที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว การดำเนินงานในโครงการนี้ ยังได้มีการจัดทำบทความทางวิชาการทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แบบแนะนำการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายน้ำ รวมถึงสื่อวีดิทัศน์เพื่อเป็นการถ่ายทอดความรู้ที่สำคัญที่ได้จากโครงการให้กับเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงหรือผู้ที่สนใจทั่วไปอีกด้วย



บทที่ 2

ทฤษฎีและกรอบแนวคิดในการออกแบบอาคารระบายน้ำ

2. ทฤษฎีและกรอบแนวคิดในการออกแบบอาคารระบายน้ำ

ทฤษฎีและกรอบแนวคิดในการออกแบบอาคารระบายน้ำซึ่งจะนำเสนอในบทนี้ สามารถแบ่งเนื้อหาในการนำเสนอออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก โดยส่วนแรกจะเป็นการอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานทางด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ที่จำเป็นต้องทราบในการออกแบบอาคารระบายน้ำ ส่วนที่สองจะเป็นการทบทวนแนวทางหรือเกณฑ์การออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้ในต่างประเทศ และส่วนสุดท้ายจะเป็นการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของเนื้อหาทั้ง 3 ส่วนหลัก แสดงได้ดังนี้

2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

อาคารระบายน้ำที่ใช้ในทางหลวงมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท แต่ในโครงการนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาในกรณีของอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Corss Drain) ซึ่งทำหน้าที่ในการระบายจากด้านเหนือน้ำให้ไหลผ่านคันทางหรือถนนไปยังด้านท้ายน้ำ ดังนั้นอาคารประเภทนี้จึงมีหน้าที่หลักในการป้องกันการเอ่อล้นของน้ำท่วมขึ้นมาบนผิวทางตลอดจนเอ่อล้นเข้าท่วมพื้นที่ด้านเหนือน้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่าอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Corss Drain) เป็นโครงสร้างหลักในการป้องกันน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำนั่นเอง

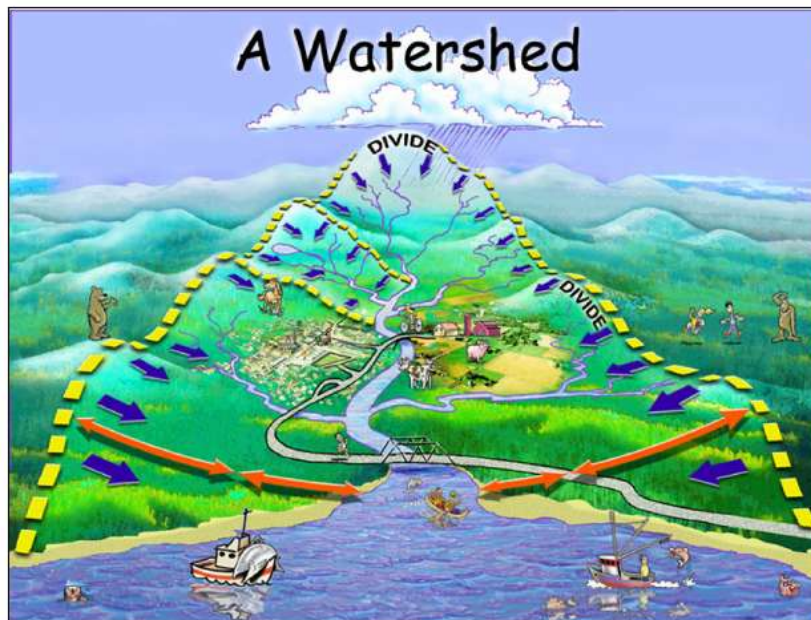
สำหรับอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง ที่ใช้ในงานก่อสร้างทางได้แก่ ท่อลอด (ท่อกลม, Culvert) และท่อเหลี่ยม (Box Culvert) มีขั้นตอนการออกแบบอยู่ 2 ขั้นตอนหลัก โดยขั้นตอนแรก เป็นการออกแบบขนาดเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณน้ำท่วมตามที่ออกแบบไว้ได้อย่างเพียงพอ ส่วนขั้นตอนที่สอง เป็นการออกแบบโครงสร้างเพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างจริง อย่างไรก็ตามสำหรับในการศึกษาในโครงการนี้ จะมุ่งเน้นไปที่ขั้นตอนการออกแบบขนาดของอาคารระบายน้ำเท่านั้น ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลความรู้ทางด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ในการออกแบบ ดังนั้นการทบทวนทฤษฎีที่จะนำเสนอในส่วนนี้จึงประกอบด้วย ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์ และทฤษฎีของแบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งจะนำมาใช้ในการศึกษาในโครงการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1. ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบขนาดของท่อลอดและท่อเหลี่ยม ประกอบด้วย กลุ่มน้ำและลักษณะตัวแปรทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำ ข้อมูลฝนและข้อมูลน้ำท่าที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ รวมถึงทฤษฎีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

2.1.1.1. กลุ่มน้ำ (Watershed or Catchment)

กลุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝนที่ตกลงบน พื้นที่น้ำจะไหลลงสู่ทางออก (outlet) (วรารูธ, 2545) กลุ่มน้ำของแม่น้ำ ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ ใดๆ ก็คือ พื้นที่ซึ่งเมื่อฝนตกลงมาแล้ว น้ำจะไหลรวมกันลงสู่แม่น้ำ ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำ นั้นๆ (วีระพล, 2531) ในปัจจุบันมีการใช้คำว่า Watershed ในความหมายคล้ายคลึงกับคำว่า Drainage หรือ Basin หรือ Catchment หรือบางครั้งใช้เป็น Drainage Basin อย่างไรก็ตามคำเหล่านี้มีความหมายเป็นกลุ่มน้ำเหมือนกันหมด จะแตกต่างกันบ้างเฉพาะกรณีที่พิจารณาเท่านั้น (วีระพล, 2531) อาทิ Drainage Basin ก็คือ กลุ่มน้ำที่รับและระบายน้ำด้วยลำธารสู่จุดออกหรือ ปากลำน้ำ และ Catchment ก็คือ พื้นที่กลุ่มน้ำขนาดเล็ก แต่ไม่มีข้อจำกัดแน่นอนลงไปว่าขนาด เท่าใด ดังแสดงกลุ่มน้ำและการแบ่งกลุ่มน้ำในรูปที่ 2.1-1



รูปที่ 2.1-1 กลุ่มน้ำและการแบ่งกลุ่มน้ำ (Powell,2012)

สำหรับประเทศไทยนั้น คณะกรรมการอุทกวิทยาแห่งชาติ (2538) ในสำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ (ปัจจุบันได้รวมอยู่ในกรมทรัพยากรน้ำ) ได้จัดทำรายงาน“มาตรฐานลุ่มน้ำและลุ่มน้ำสาขา” (สิงหาคม 2538) โดยในการแบ่งลุ่มน้ำประธานหรือลุ่มน้ำหลัก(Main Basin) ได้ยึดถือเอาแม่น้ำสายใหญ่เป็นหลักในการกำหนดขอบเขตและการเรียกชื่อของลุ่มน้ำ แต่ก็มีข้อยกเว้นสำหรับพื้นที่บางพื้นที่ เช่น พื้นที่บริเวณใกล้เขตแดนติดต่อกับประเทศกัมพูชา ซึ่งไม่มีแม่น้ำสายใหญ่ที่จะใช้เป็นตัวแทนของลุ่มน้ำที่จัดแบ่งได้ซึ่งใช้ชื่อลุ่มน้ำโดนเลสาบ และได้กำหนดขอบเขตและเรียกชื่อลุ่มน้ำตามลุ่มน้ำสาขานั้นๆ หรือบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล เช่น ชายฝั่งทะเลตะวันออก และชายฝั่งทะเลตะวันตกโดยยึดถืออ่าวไทยเป็นหลัก ในการกำหนดชื่อบริเวณภาคใต้ของประเทศได้แบ่งออกเป็น ภาคใต้ฝั่งตะวันออก ภาคใต้ฝั่งตะวันตกซึ่งถือตามทิศทางการไหลลงสู่ทะเลในบริเวณพื้นที่นั้นๆ เป็นหลัก ซึ่งจากการกำหนดเกณฑ์ดังกล่าวได้แบ่งพื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 25 ลุ่มน้ำ และยังแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยได้อีก 254 ลุ่มน้ำย่อย มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งประเทศประมาณ 511,361 ตารางกิโลเมตร. ดังแสดงในรูปที่ 2.1-2

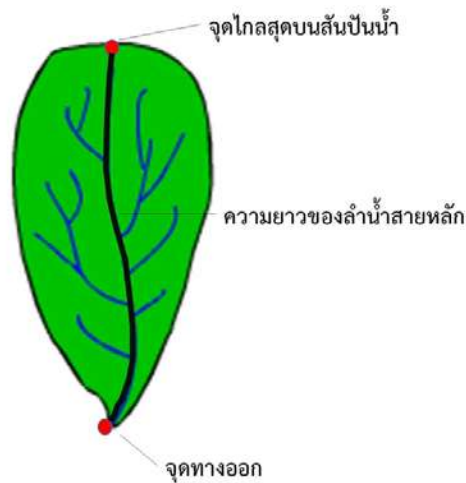


รูปที่ 2.1-2 ลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย

ลักษณะของกลุ่มน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดปริมาณน้ำท่า กล่าวคือ กลุ่มน้ำที่มีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็น ขนาดของพื้นที่ ลักษณะภูมิประเทศ สภาพพืชพรรณปกคลุม การใช้ประโยชน์ที่ดิน ตลอดจนสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน ย่อมส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำท่าที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านของปริมาณและอัตราการไหลสูงสุด แม้ว่าจะมีปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเท่ากันก็ตาม ดังนั้นในการออกแบบอาคารระบายน้ำ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการกำหนดขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำในการออกแบบให้ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำของอาคารระบายน้ำนั้นๆ รวมถึงต้องทราบลักษณะทางกายภาพพื้นฐานของกลุ่มน้ำ เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบอาคารระบายน้ำได้อย่างเหมาะสม

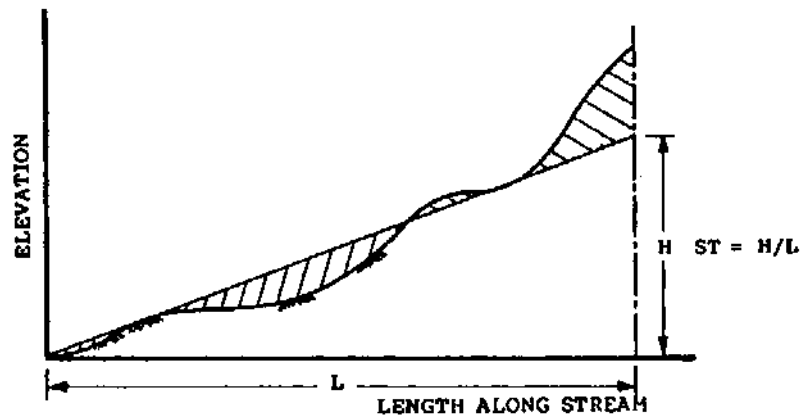
ลักษณะทางกายภาพพื้นฐานที่สำคัญของกลุ่มน้ำที่จำเป็นต้องทราบ สำหรับนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำ ได้แก่ ความยาวของลำน้ำหลัก และความลาดชันเฉลี่ยบนลำน้ำสายหลัก ซึ่งมีนิยามดังนี้

- ความยาวของลำน้ำหลัก คือความยาวของกลุ่มน้ำวัดตามแนวลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงสันเขาหรือสันปันน้ำที่อยู่ไกลสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1-3



รูปที่ 2.1-3 ความหมายของความยาวบนลำน้ำสายหลัก

- ความลาดชันเฉลี่ยบนลำน้ำสายหลัก คือ ความลาดชันที่เกิดจากการลากเส้นสมมติตามรูปตัดตามยาว (Profile) ของลำน้ำแล้วส่งผลให้พื้นที่ใต้กราฟและพื้นที่เหนือกราฟ (พื้นที่ที่เกิดจากเส้นสมมติกับเส้นค่าระดับความสูงของพื้นที่) มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1-4



รูปที่ 2.1-4 แนวคิดการหาค่าความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (วีระพล, 2531)



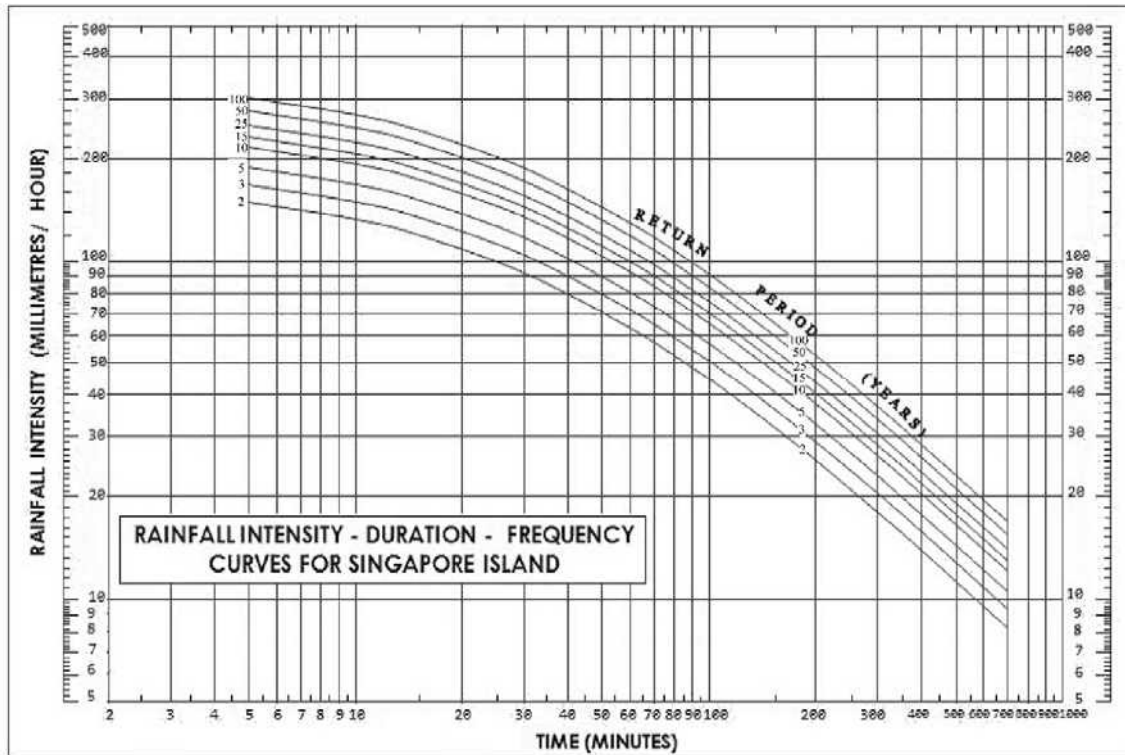
2.1.1.2. ฝน (Rainfall)

ฝนเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณออกแบบระบบระบายน้ำ โดยฝนเป็นรูปแบบหนึ่งของหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ซึ่งเป็นน้ำที่ตกจากบรรยากาศอยู่ในหลายรูปแบบได้แก่ ฝน (Rain) หิมะ (Snow) ลูกเห็บ (hail) และ ฝนละออง (Drizzle) เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถที่จะแยกประเภทของฝนตามสาเหตุที่ทำให้เกิดฝนได้ 4 ชนิด คือ

- (1) ฝนเกิดจากการพาความร้อน (convective storm) ซึ่งเกิดจากมวลอากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นเมื่อปะทะอากาศเย็นข้างบน จึงกลั่นตัวตกเป็นน้ำฝน
- (2) ฝนภูเขา (orographic storm) ซึ่งเกิดจากมวลอากาศที่อุ้มน้ำพัดจากทะเลแล้วลอยมาปะทะภูเขา จากนั้นจะลอยตัวสูงขึ้นไปกลั่นตัวเป็นฝนตกลงมา ซึ่งฝนประเภทนี้จะเป็นสาเหตุของพื้นที่ฝนตกชุกบริเวณด้านหน้าเขาและพื้นที่เงาฝนบริเวณด้านหลังซึ่งมีฝนตกน้อย
- (3) ฝนในแนวอากาศ (frontal storm) เกิดจากมวลอากาศร้อนปะทะมวลอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ ในชั้นบรรยากาศแล้วเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวตกลงมาเป็นฝน
- (4) ฝนพายุหมุน (cyclonic storm) เกิดจากความกดอากาศสูงเคลื่อนไปสู่บริเวณความกดอากาศต่ำ ทำให้มวลอากาศร้อนบริเวณพื้นดินในบริเวณความกดอากาศต่ำลอยตัวสูงขึ้น เมื่อปะทะอากาศเย็นข้างบน จึงกลั่นตัวตกเป็นน้ำฝน

อย่างไรก็ตามหากจะพิจารณาถึงตัวแปรของข้อมูลฝนที่สำคัญที่สุด ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ จะต้องพิจารณาข้อมูลค่าความเข้มฝน (Rainfall Intensity) ซึ่งหมายถึง ปริมาณฝนที่ตกในหนึ่งหน่วยเวลา มักนิยามวัดเป็นหน่วยความลึกต่อเวลา เช่น มิลลิเมตรต่อนาที่หรือมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งหากฝนที่ตกมีค่าความเข้มฝนมาก นั้นหมายถึงมีฝนตกหนักมาก และหากฝนที่ตกมีค่าความเข้มของฝนตกมากกว่าอัตราการซึมของน้ำที่ไหลลงไปในดินแล้ว ปริมาณฝนส่วนเกินก็จะไหลเป็นน้ำท่าที่ไหลบนผิวดิน หรือเป็นปริมาณน้ำท่วมนั่นเอง

โดยทั่วไป ค่าความเข้มฝนมักถูกนำไปใช้ในการคำนวณเทียบเป็นค่าสถิติของความน่าจะเป็นในการเกิดฝนที่ค่าความเข้มฝนต่างๆ (Return Period) กับระยะเวลาการตกของฝน (Duration Time) และสามารถนำมาแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) ช่วงเวลาของการตก (Duration) และความถี่ของการเกิด (Frequency) หรือที่เรียกว่ากราฟ Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve หรือ IDF Curve ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1-5 ซึ่ง IDF Curve นี้ สามารถที่จะนำไปใช้ในคำนวณอัตราการไหลสูงสุดเพื่อการออกแบบขนาดของอาคารระบายน้ำได้ต่อไป



The IDF Curve has been revised to include till 2009 rainfall data.

รูปที่ 2.1-5 ตัวอย่าง Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve หรือ IDF Curve
(PUB, Singapore National Water Agency, 2009)

2.1.1.3. น้ำท่า

น้ำท่าเป็นข้อมูลที่สำคัญตัวหนึ่งทางด้านอุทกวิทยา ที่วิศวกรจะต้องทราบ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณขนาดอาคารระบายน้ำ ซึ่งรูปแบบของข้อมูลน้ำท่าที่มักนำมาใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ ข้อมูลอัตราการไหล และ ข้อมูลกราฟน้ำท่า ซึ่งมีรายละเอียดอธิบายได้ดังนี้

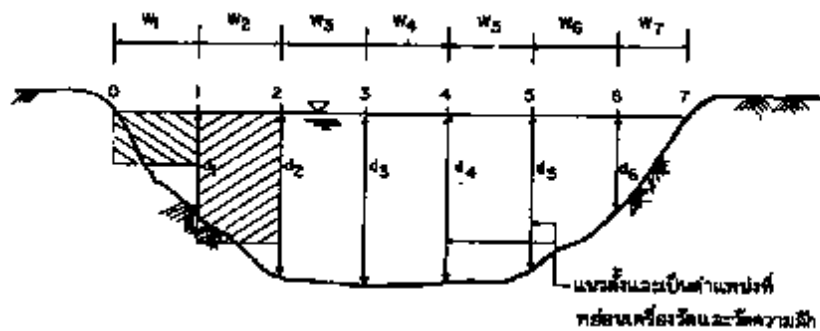
ก. ข้อมูลอัตราการไหล

ข้อมูลอัตราการไหลเป็นข้อมูลปริมาตรการไหลต่อหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปมักอยู่ในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (CMS ในหน่วย SI) หรือ ลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที (CFS ในหน่วยอังกฤษ) ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการไหลสามารถคำนวณได้จากสมการ

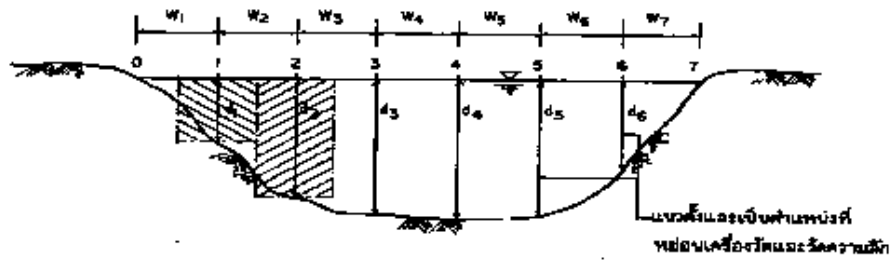
$$Q = AV$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหล (ปริมาตร/เวลา)
	V	=	ความเร็วในการไหล (ระยะทาง/เวลา)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดการไหล (พื้นที่)

หากเป็นการไหลในลำน้ำ ค่าความเร็วในการไหล สามารถตรวจวัดได้ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เครื่องวัดกระแสน้ำ (Current meter) โดยในการตรวจวัดจะมีการแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นส่วนๆ ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธี mean-section และ วิธี mid-section ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีหลักการ คล้ายกัน โดยมีจุดต่างกันที่การพิจารณาหน้าตัดในการคำนวณ ดังแสดงในรูปที่ 2.1-6 และรูปที่ 2.1-7 โดยวิธีการคำนวณดังนี้



รูปที่ 2.1-6 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี mean-section (สันติ, 2543)



รูปที่ 2.1-7 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี mid-section (สันติ, 2543)

วิธี mean-section จะพิจารณาหน้าตัดระหว่างจุดที่ทำการวัดในการคำนวณ เช่น

- ช่วงที่ 1 ระหว่าง จุด 0 กับ จุด 1 ในรูปที่ 2.1-7
ความเร็วที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วเฉลี่ยของ จุด 0 กับ จุด 1
ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะพิจารณาเป็นรูปสามเหลี่ยม $A_1 = 0.5 \times (0 + d_1) \times W_1$
- ช่วงที่ 2 ระหว่าง จุด 1 กับ จุด 2 ในรูปที่ 2.1-7
ความเร็วที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วเฉลี่ยของ จุด 1 กับ จุด 2
ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะพิจารณาเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู $A_2 = 0.5 \times (d_1 + d_2) \times W_2$

วิธี mid-section จะพิจารณาหน้าตัด ณ จุดที่ทำการวัดในการคำนวณ เช่น

- ช่วงที่ 1 เป็นจุด 1 ในรูปที่ 2.1-8
ความเร็วที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วของจุด 1
ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะพิจารณาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า $A_1 = d_1 \times (W_1/2 + W_2/2)$
- ช่วงที่ 2 ระหว่าง จุด 1 กับ จุด 2 ในรูปที่ 2.1-8
ความเร็วที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วของจุด 2
ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะพิจารณาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า $A_2 = d_2 \times (W_2/2 + W_3/2)$

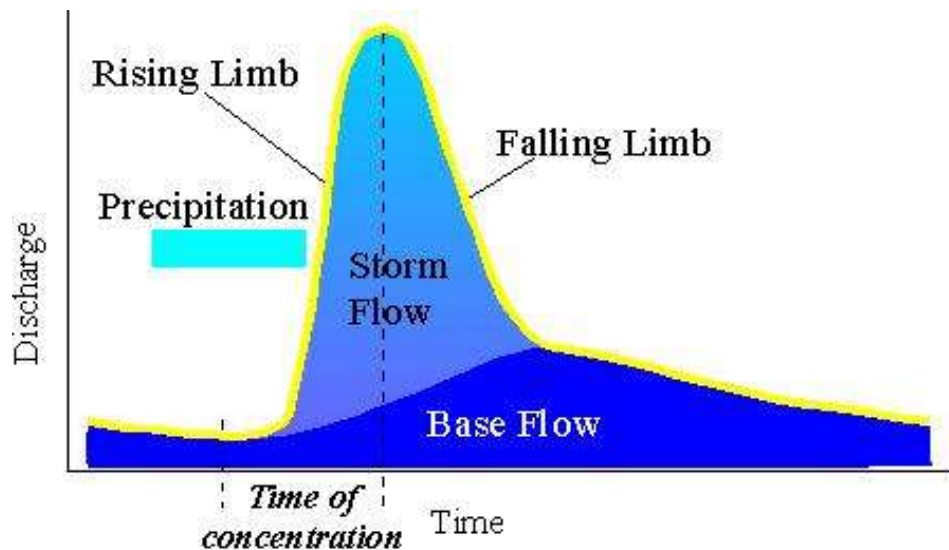
ในแต่ละตำแหน่งของการวัดความเร็วกระแสน้ำ ควรวัดที่ระดับความลึกหลายระดับ เพื่อนำมาเฉลี่ยเป็นความเร็ว ณ ตำแหน่งนั้น ซึ่งโดยทั่วไป มักจะทำการวัดความเร็วการไหลที่ระดับความลึกของน้ำ 3 ตำแหน่งดังนี้

- $V_{0.2}$ = ความเร็วที่ 0.2d วัดจากผิวน้ำ
 - $V_{0.6}$ = ความเร็วที่ 0.6d วัดจากผิวน้ำ
 - $V_{0.8}$ = ความเร็วที่ 0.8d วัดจากผิวน้ำ
- เมื่อ d คือ ความลึกน้ำของตำแหน่งที่ตรวจวัด

ข. ข้อมูลกราฟน้ำท่า (Hydrograph)

กราฟน้ำท่า (Hydrograph) เป็นข้อมูลที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลตามเวลา ณ ตำแหน่งที่พิจารณาใดๆ ซึ่งโดยทั่วไปกราฟน้ำท่าจะประกอบด้วยกราฟไหล 2 ส่วน คือ การไหลของน้ำผิวดิน เรียกว่า Direct Runoff (หรือ quickflow) และน้ำที่ไหลจากใต้ผิวดิน เรียกว่า Baseflow (ดังแสดงในรูปที่ 2.1-8) ซึ่งอธิบายความหมายได้ดังนี้

- **Direct Runoff** นั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำฝนที่ตกลงมาและไหลไปตามผิวดิน (Surface Runoff) นอกจากนี้ ยังรวมถึงน้ำฝนที่ตกลงในลำน้ำโดยตรง และน้ำไหลใต้ผิวดินบางส่วนที่ไหลผ่านผิวดินขึ้นมา โดยการเกิดของ direct runoff นี้อาจเกิดขึ้นทันทีเมื่อฝนเริ่มตกหรือหลังจากฝนตกไม่นาน และเพิ่มปริมาณจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง โดยปริมาณน้ำสูงสุดนั้นอาจเกิดขณะฝนกำลังตกก็ได้หากฝนตกต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน แต่โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นหลังจากฝนหยุดตกไประยะหนึ่ง เนื่องจากน้ำจากจุดต่างๆ ในพื้นที่จะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการไหลมา รวมตัวกันที่ทางออก ซึ่งระยะเวลาขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ของลุ่มน้ำ
- **Baseflow** เป็นน้ำที่ไหลมาทางใต้ดินซึ่งไหลได้ช้ากว่า เวลาในการเดินทางจากจุดที่ฝนตกลงมาจนกระทั่งถึงทางออกของลุ่มน้ำอาจเป็นระยะเวลาหลายวัน จนกระทั่งเป็นปีปริมาณของน้ำส่วนนี้ในลำน้ำค่อนข้างจะคงที่โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล



รูปที่ 2.1-8 องค์ประกอบของกราฟน้ำท่า

(<https://nrcca.cals.cornell.edu/soil/CA6/CA0658.php>)



ในการนำกราฟน้ำท่าไปประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำนั้น สามารถใช้ข้อมูลกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรง หากบริเวณที่ต้องการก่อสร้างอาคารระบายน้ำ มีสถานีวัดน้ำท่า แต่หากไม่มีสถานีตรวจวัดก็จำเป็นที่จะต้องมีการสร้างกราฟน้ำท่าขึ้นมา ซึ่งการสร้างกราฟน้ำท่าเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำนั้น จะต้องเริ่มจากการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) จากนั้นจึงนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลฝน เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำนองหรือปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบ อาคารระบายน้ำต่อไปได้ โดยรายละเอียดของการประเมินปริมาณไหลโดยใช้กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ได้ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2

2.1.1.4. การคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

อัตราการไหลสูงสุดเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ กล่าวคือ ขนาดของอาคารระบายน้ำที่ทำการออกแบบจะต้องสามารถรองรับปริมาณการไหลด้วยอัตราการไหลสูงสุดสุดที่กำหนดได้ ซึ่งวิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

- (1) วิธี Rational Formula
- (2) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)
- (3) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) ด้วยวิธีของ Snyder
- (4) วิธี กราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค Regional Flood Frequency analysis สำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย
- (5) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี SCS
- (6) วิธี Slope-Area Method

วิธีการที่ (1) ถึง (4) เป็นวิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่ได้มีการกล่าวไว้ในเอกสาร “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันกีดเซาะ” ของสำนักสำรวจและออกแบบกรมทางหลวง ซึ่งจะมีการกล่าวรายละเอียดต่อไปในบทที่ 3 ส่วนเนื้อหาที่จะนำเสนอในส่วนนี้ จะเป็นการอธิบายหลักการของวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี SCS และวิธี Slope-Area Method ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ก. วิธีการหนึ่งหน่วยน้ำทำด้วยวิธี SCS

วิธีการนี้มีความเหมาะสมในการประเมินปริมาณการไหลสูงสุด (ทั้งขนาดและปริมาตร) ณ จุดพิจารณาที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำระหว่าง 10 ถึง 2,500 ตารางกิโลเมตร ซึ่งโดยทั่วไป ณ จุดพิจารณาที่มีสถานีตรวจวัด กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำสามารถประเมินได้จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดได้โดยตรง อย่างไรก็ตามสำหรับจุดพิจารณาที่ไม่มีข้อมูลตรวจวัดน้ำ (Ungauged Catchment) ต้องใช้วิธีสังเคราะห์กราฟหนึ่งน้ำท่า (Synthetic Unit Hydrograph) มาใช้วิเคราะห์ โดยประกอบด้วยหลายวิธี เช่น วิธี Snyder วิธี Modified Snyder และวิธี SCS เป็นต้น สำหรับเนื้อหาที่จะขอเสนอในส่วนนี้จะเป็นการนำวิธี SCS ของหน่วยงานอนุรักษ์ดิน (Soil Conservation Service, SCS) แห่งสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้คำนวณหากราฟน้ำท่าที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ โดยวิธี Unit Hydrograph ซึ่งแปลงค่าน้ำฝนที่เหลือจากการซึมลงดิน (Rainfall excess) ที่เกิดในช่วงเวลาหนึ่งทั่วพื้นที่รับน้ำฝนให้เป็นน้ำท่าไหลบนดิน โดยผลการคำนวณจะแสดงออกมาในรูปของกราฟน้ำท่า ดังแสดงในรูปที่ 2.1-9 ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณฝนส่วนเกิน (Rainfall excess) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ หรือ หลายช่วงต่อเนื่องกัน โดยอัตราการไหลสูงสุด ก็คือ ยอด (Peak) ของกราฟน้ำท้านั้นเอง ๆ

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำด้วยวิธี SCS มีดังนี้ (SCS, 1972)

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

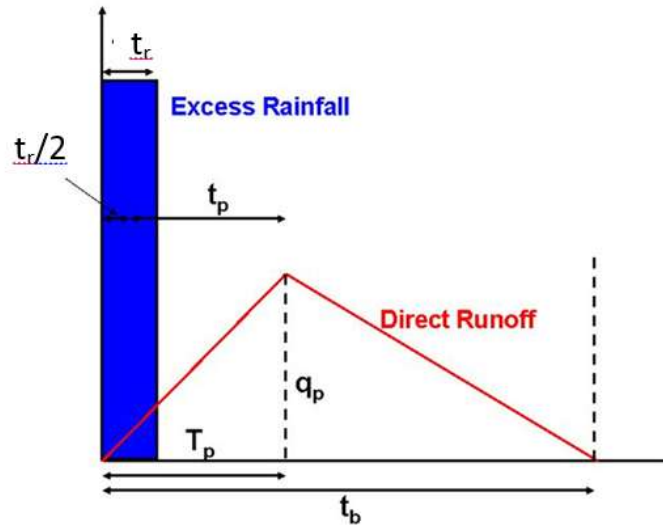
$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

$$t_p = 0.6T_c$$

$$t_r = t_p / 5$$

เมื่อ	q_p	=	อัตราการไหลสูงสุดของ Unit Hydrograph (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
	A	=	ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)
	T_p	=	เวลาที่ใช้ในการเกิดปริมาณน้ำนองสูงสุดของ Unit Hydrograph นับจากเมื่อเริ่มมี Rainfall excess (ชั่วโมง)
	t_p	=	basin lag หรือคือเวลาที่นับจากจุด centroid ของกราฟ Rainfall excess ถึงเวลาที่เกิด peak ของ Unit Hydrograph (ชั่วโมง)
	t_r	=	ช่วงเวลาการเกิด Rainfall excess (ชั่วโมง)

T_c = ช่วงเวลาการตกของฝน (Time of concentration) เท่ากับเวลาที่น้ำใช้ในการไหลจากจุดไกลที่สุดของพื้นที่รับน้ำฝนมาถึงจุดที่พิจารณา (ชั่วโมง)



รูปที่ 2.1-9 ลักษณะของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี SCS (Soil Conservation Service, 1972)

ภายหลังจากที่ได้ทำการคำนวณ q_p และ t_p แล้ว สามารถนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) จากข้อมูลกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless Unit Hydrograph) ของหน่วยงาน SCS (Soil Conservation Service) ได้ โดยใช้ข้อมูลตามตารางที่ 2.1-1 ที่ได้จัดทำขึ้นจากการศึกษากราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจำนวนหลายพื้นที่ ซึ่งมีขนาดและลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่รับน้ำฝนแตกต่างกัน ดังนี้ และในขั้นตอนสุดท้ายเมื่อสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้แล้ว ให้นำข้อมูลฝนส่วนเกิน หรือฝนนอกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (ในหน่วยความลึก) มาคูณกับค่าลำดับของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สร้างขึ้น ผลที่ได้คือ กราฟน้ำท่าของปริมาณฝนที่ออกแบบ โดยอัตราการไหลสูงสุดคือ จุดสูงสุด (Peak) ของกราฟน้ำท้านั้นเอง



ตารางที่ 2.1-1 อัตราส่วนของกราฟน้ำท่าแบบไร้มิติ ตามวิธี SCS

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: Soil Conservation Service, 1972



ข. วิธี Slope-Area Method

วิธี Slope-Area Method เป็นวิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด โดยใช้ข้อมูลทางกายภาพของลำน้ำ ซึ่งการไหลในลำน้ำธรรมชาติ ความเร็วของน้ำจะเปลี่ยนแปลงและไม่คงที่ไปตามระยะทาง ดังนั้นวิธีการนี้จึงใช้วิธีการตัดแปลงสูตรของ Manning มาคำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดของลำน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

- (1) สำรวจลักษณะทางกายภาพของลำน้ำและรูปตัดลำน้ำ อย่างน้อย 3 แห่ง (คือตำแหน่งที่ต้องการประเมินอัตราการไหลสูงสุด ตำแหน่งเหนือน้ำ และตำแหน่งท้ายน้ำ) บนช่วงลำน้ำ ซึ่งยาวไม่น้อยกว่า 75 เท่าของความลึกของน้ำ และช่วงความยาวดังกล่าวของลำน้ำระดับน้ำด้านท้ายน้ำควรต่ำกว่าระดับน้ำด้านเหนือน้ำไม่น้อยกว่า Velocity Head ($V^2/2g$) หรือไม่น้อยกว่า 0.15 เมตร
- (2) เก็บข้อมูลระดับน้ำในลำน้ำที่ระดับสูงสุด ที่สังเกตได้หรือจากการสอบถามประชาชนในพื้นที่
- (3) ประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning's n) ซึ่งขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.1-2
- (4) ทำการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี Slope Area ซึ่งจะมีพื้นฐานมาจากมีสมการของ Manning ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ Manning} \quad Q &= (1/n)AR^{2/3} S^{1/2} \\ \text{ให้} \quad K &= (1/n)AR^{2/3} \\ \text{จะได้} \quad Q &= KS^{1/2} \end{aligned}$$

ดังนั้นสมการสำหรับคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี Slope Area Method ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{สมการ Slope Area} \quad Q &= K_w S_f^{1/2} \\ \text{เมื่อ} \quad K_w &= \sqrt{K_{\text{เหนือน้ำ}} * K_{\text{ท้ายน้ำ}}} \\ &= \alpha * V^2 / 2g \\ \text{เมื่อ} \quad \alpha &= \frac{\sum(K^3/A^2) * \sum(A^2)}{\sum(K^3)} \\ \Delta h_v &= h_{v\text{เหนือน้ำ}} - h_{v\text{ท้ายน้ำ}} \\ \Delta h &= \text{ระดับน้ำเหนือน้ำ} - \text{ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ} \\ \text{ในกรณีที่ } \Delta h_v \text{ มีค่าเป็นบวก} \quad h_f &= \Delta h + 0.5 * \Delta h_v \\ \text{ในกรณีที่ } \Delta h_v \text{ มีค่าเป็นลบ} \quad h_f &= \Delta h + \Delta h_v \\ S_f &= h_f / L_m \end{aligned}$$



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

ตารางที่ 2.1-2 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

ลักษณะของลำน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์
คลองส่งน้ำ	
คลองดินขุด	0.025
คลองหินขุด	0.40
คอนกรีต	0.13
ไม้	0.14
เหล็ก	0.12
ลำน้ำธรรมชาติบนพื้นราบ	
พื้นเรียบตรงไม่มีกรวดและวัชพืช	0.025-0.033
พื้นเรียบตรงมีกรวดและวัชพืช	0.030-0.040
พื้นไม่เรียบแม่แอ่งทั่วไปคดเคี้ยว	0.033-0.045
พื้นไม่เรียบมีแอ่งคดเคี้ยววัชพืชและกรวดหิน	0.035-0.050
มีวัชพืชนานแน่น แอ่งลึก ที่ลุ่มน้ำท่วมมีต้นไม้ขึ้นหนาแน่น	0.075-0.150
ลำน้ำธรรมชาติบนภูเขา	
พื้นที่มีกรวด หิน หินก้อนบ้างเล็กน้อย ไม่มีวัชพืช	0.030-0.050
พื้นมีหิน และหินก้อนใหญ่ (Boulder) อยู่ทั่วไป	0.040-0.070



2.1.2. ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

2.1.2.1. ทฤษฎีการไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow)

การไหลในทางน้ำเปิด คือการไหลที่ผิวของเหลวเปิดสู่บรรยากาศ เช่น การไหลในแม่น้ำ ลำคลอง หรือการไหลในท่อแบบไม่เต็มท่อ เป็นต้น ซึ่งตามปกติแล้วการไหลในทางน้ำเปิดสามารถจำแนกโดยใช้หลักเกณฑ์ของเวลาและระยะทาง (Temporal and Spatial) ได้ 4 ประเภท ดังนี้

1) การไหลคงตัวแบบสม่ำเสมอ (Steady uniform flow, $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ และ $\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$) เช่น การไหลด้วยอัตราคงที่ ผ่านท่อตรงที่ยาวมาก

2) การไหลคงตัวแบบไม่สม่ำเสมอ (Steady non-uniform flow, $\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$ และ $\frac{\partial Q}{\partial x} \neq 0$) เช่น การไหลด้วยอัตราคงที่ผ่านท่อที่มีขนาดค่อยๆขยายใหญ่ขึ้น

3) การไหลไม่คงตัวแบบสม่ำเสมอ (Unsteady uniform flow, $\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0$ และ $\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$) เช่น การไหลในท่อตรงที่มีอัตราการไหลไม่คงที่

4) การไหลไม่คงตัวแบบไม่สม่ำเสมอ (Unsteady non-uniform flow $\frac{\partial Q}{\partial t} \neq 0$ และ $\frac{\partial Q}{\partial x} \neq 0$) เช่น การไหลในท่ออัตราไม่คงที่ผ่านท่อที่ค่อยๆขยายใหญ่ขึ้น

อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่แล้วการวิเคราะห์การไหลในทางน้ำเปิดที่นิยมใช้ในการวิศวกรรมจะเป็นการไหลคงตัวแบบสม่ำเสมอ โดยสมการที่นำมาใช้ในการอธิบายการไหลในลักษณะนี้ คือ สมการของ Manning ดังนี้

$$Q = (1/n)AR^{2/3} S^{1/2}$$

เมื่อ	Q	คือ	อัตราการไหล
	n	คือ	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของน้ำ (ตร.ม.)
	R	คือ	รัศมีชลศาสตร์ (ม.)
	S	คือ	ความลาดชันของแรงเสียดทาน ซึ่งตามเงื่อนไขของการไหลคงตัวแบบสม่ำเสมอสามารถประมาณให้เท่ากับความลาดชันของท้องน้ำได้



2.1.2.2. ทฤษฎีการไหลผ่านท่อลอด

ในการทบทวนการไหลผ่านท่อลอดได้ทบทวนจาก “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง” เนื่องจากมีเนื้อหาที่สมบูรณ์และครอบคลุม ดังนี้

ในการอธิบายการไหลผ่านท่อลอด จะอธิบายตั้งแต่ลักษณะการไหลซึ่งมี 2 ประเภท คือ การไหลแบบ Inlet Control และการไหลแบบ Outlet Control จากนั้นจะเป็นการแสดงข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ และแนวทางการออกแบบท่อลอด ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังนี้

(1) การไหลผ่านท่อลอดแบบ Inlet Control

การไหลแบบ Inlet Control คือ การไหลที่ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพที่ปากทางเข้าเท่านั้น เช่น ระดับน้ำเหนือปากท่อ ลักษณะของปากท่อ เป็นต้น ส่วนความลาดเอียงของท่อ ความหยาบของผิวท่อ ระดับน้ำที่ปลายท่อ หรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่ถัดจากปากท่อเข้ามาจะไม่ส่งผลทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลง การไหลแบบ Inlet Control สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ

(1.1) Orifice Flow

การไหลแบบ Orifice Flow นี้ ระดับน้ำด้านปากท่อ (Headwater) จะอยู่สูงกว่าระดับหลังท่อ (รูปที่ 2.1-11a) แต่น้ำที่ไหลเข้าท่อจะไหลได้ไม่เต็มท่อ ลักษณะการไหลของน้ำเหมือนกับการไหลผ่านรูเปิด (orifice) หรือไหลลอดใต้บานประตูระบายน้ำ (Sluice gate) จึงเรียกว่า Orifice flow โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = C_d A \sqrt{2g \left(H_w - \frac{D}{2} \right)}$$

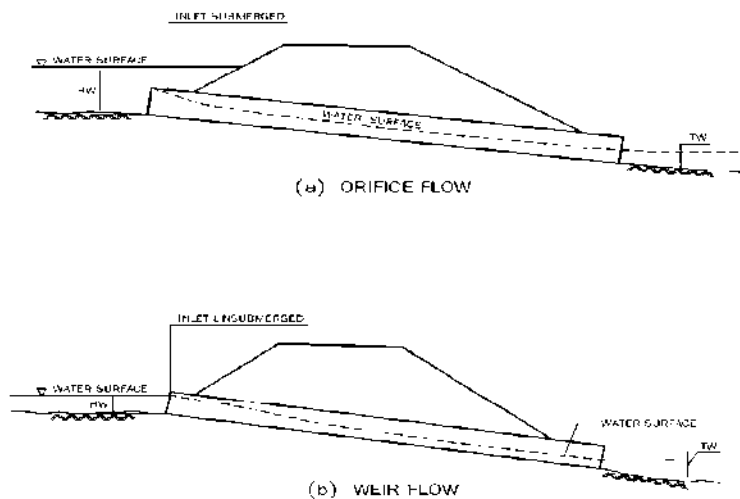
เมื่อ	Q	คือ	อัตราการไหลผ่านท่อ (ลบ.เมตร/วินาที)
	C_d	คือ	สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (โดยทั่วไปกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.611)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร)
	g	คือ	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที)
	h	คือ	ความสูงวัดจากระดับน้ำถึงจุดศูนย์กลางท่อ (เมตร)
	H_w	คือ	ความสูงวัดจากระดับผิวน้ำหน้าท่อถึงธรณีปากท่อ (เมตร)
	D	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อกลมหรือความลึกของท่อเหลี่ยม (เมตร)

(1.2) Weir Flow

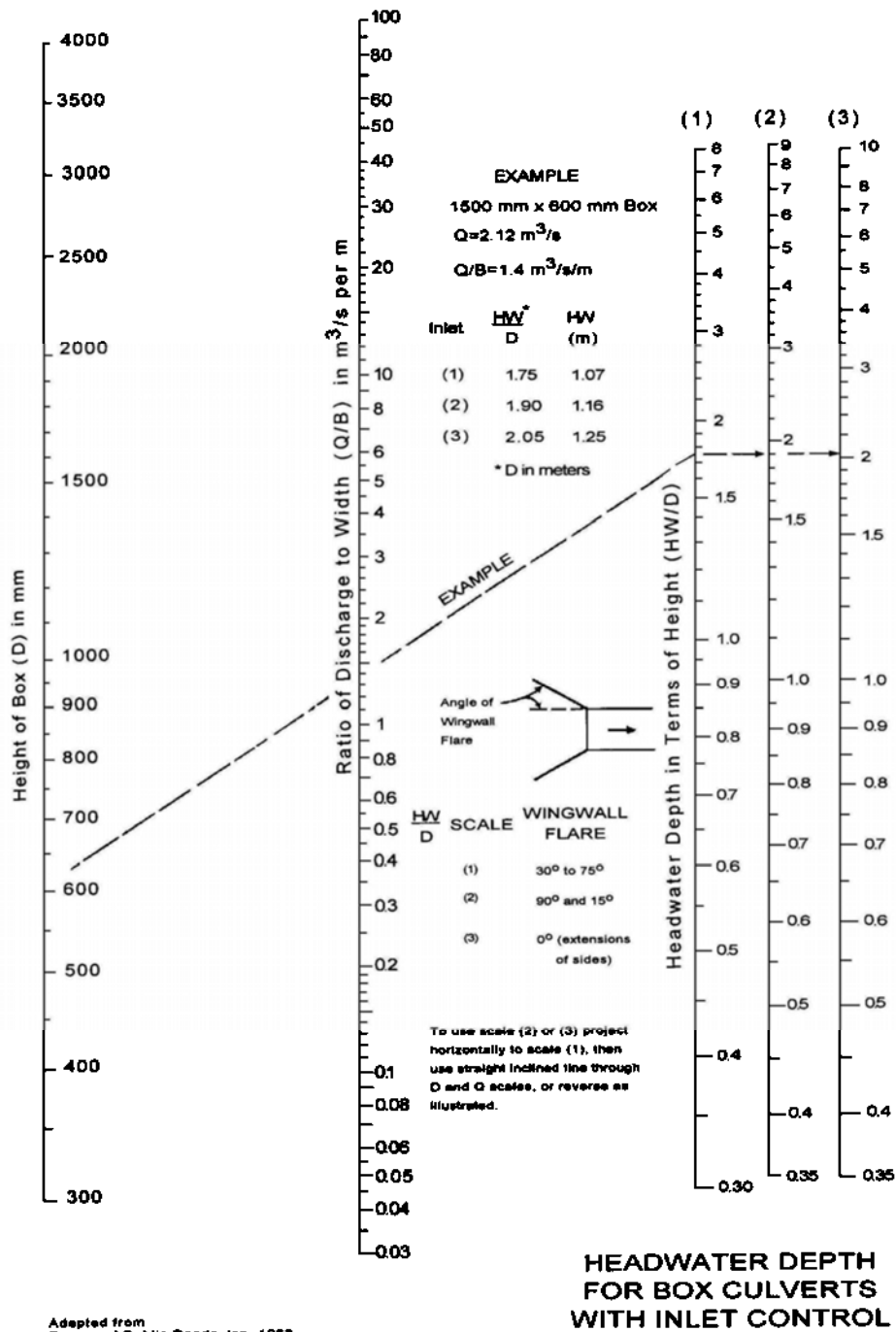
การไหลแบบ Weir Flow นี้ ระดับน้ำทางปากท่อจะไม่สูงท่วมปากท่อ (รูป 2.1-11b) และความลาดเอียงของท่อจะเป็นแบบชัน (Steep Slope) คือ ความลาดเอียงที่ทำให้การไหลในสภาพ Uniform Flow เป็นแบบ Supercritical Flow ความลาดเอียงนี้จะมีค่ามากกว่าความลาดเอียงวิกฤติ หรือ Critical Slope ซึ่งเป็นความลาดเอียงที่ทำให้เกิดการไหลแบบ Critical Flow) สำหรับการไหลชนิดนี้ สมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำไม่มีรูปแบบแน่นอนเหมือนแบบ Orifice Flow แต่จะขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของท่อด้วย

จากรูปที่ 2.1-10 จะเห็นได้ว่าการไหลผ่านท่อลอดแบบ Inlet Control ทั้ง 2 แบบ น้ำจะไหลไม่เต็มท่อและระดับน้ำปลายท่อ (Tail water) จะไม่สูงท่วมหลังท่อ ทั้งนี้เกิดจากท่อมีลักษณะความลาดเอียงมาก

สำหรับแผนภูมิกำหนดหาความลึกของระดับน้ำด้านปากท่อ (Headwater Depth) ที่ใช้ในการออกแบบ สำหรับการไหลแบบ Inlet Control ได้แสดงในรูปที่ 2.1-11 และรูปที่ 2.1-12 สำหรับท่อกลมคอนกรีตและท่อสี่เหลี่ยม ตามลำดับ

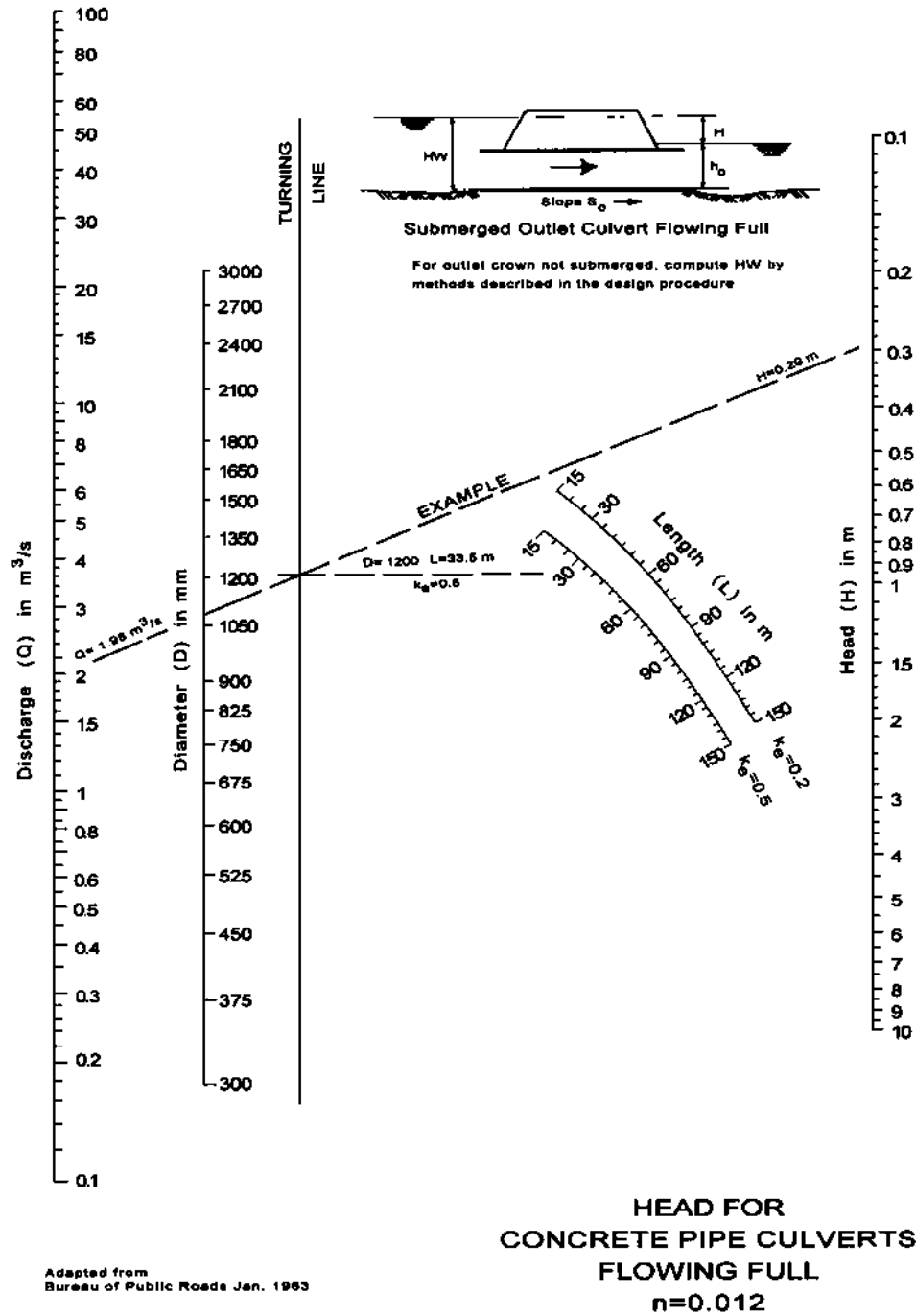


รูปที่ 2.1-10 การไหลผ่านท่อลอดแบบ Inlet Control



Adapted from Bureau of Public Roads Jan. 1963

รูปที่ 2.1-11 แผนภูมิการคำนวณความลึกการไหลของระดับน้ำปากท่อ สำหรับท่อกลมกรณีการไหลแบบ Inlet Control



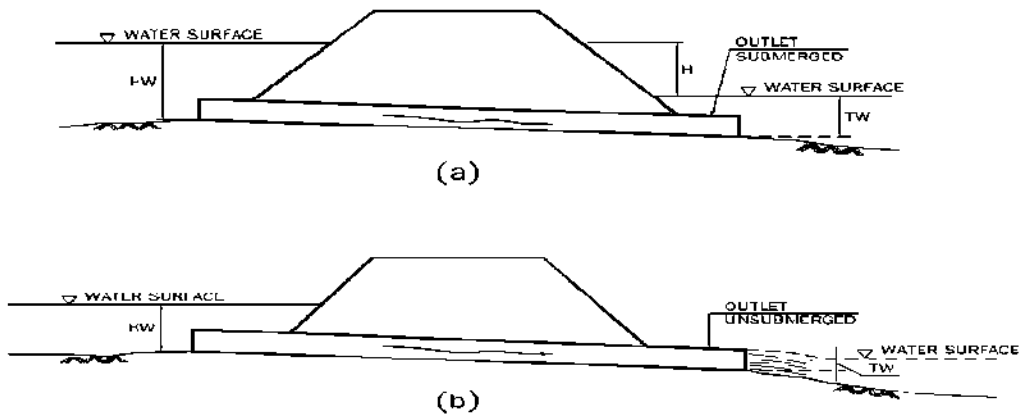
รูปที่ 2.1-12 แผนภูมิการคำนวณความลึกการไหลของระดับน้ำปากท่อ สำหรับท่อเหลี่ยมกรณีการไหลแบบ Inlet Control

(2) การไหลผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control

การไหลแบบ Outlet Control จะมีปริมาณการไหลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายชนิดด้วยกัน เช่น ความลาดเอียงของท่อ ความหยาบผิว ความแตกต่างของระดับน้ำปากท่อกับปลายท่อ และลักษณะขอบปากท่อ เป็นต้น ซึ่งในการไหลแบบ Outlet Control สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

(2.1) การไหลแบบเต็มท่อ (Full Pipe Flow)

การไหลแบบน้ำเต็มท่อ (Full Pipe Flow) การไหลนี้ น้ำจะเต็มท่อแรงดันของน้ำภายในท่อจะสูงกว่าความดันบรรยากาศ ที่ปากท่อระดับน้ำจะสูงกว่าขอบบนของท่อ แต่ที่ปลายท่อระดับน้ำอาจจะท่วมหลังท่อ (รูปที่ 2.1-13a) หรือไม่ท่วมหลังท่อ (รูปที่ 2.1-13b)



รูปที่ 2.1-13 ลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลเต็มท่อ

การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ โดยมากจะใช้สมการพลังงาน (Energy Equation) โดยถือว่าพลังงานที่สูญเสียไปทั้งหมดจะเท่ากับผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ นั่นคือ

$$H = \left[1 + K_e + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}} \right] \frac{v^2}{2g}$$



โดยที่

H	คือ	ผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ (เมตร)
Ke	คือ	สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ (ประเมินได้จากตารางที่ 2.1-3)
n	คือ	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
L	คือ	ความยาวของท่อ (เมตร)
R	คือ	รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) ของท่อ (เมตร) = A/P
A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของน้ำไหล (ตารางเมตร)
P	คือ	ความยาวเส้นขอบที่เปียกน้ำ (เมตร)
g	คือ	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที ²)
V	คือ	ความเร็วการไหลของน้ำ (เมตร/วินาที)

จากสมการข้างต้นสามารถนำมาออกแบบอัตราการไหลผ่านท่อลอดกรณีการแบบน้ำเต็มท่อได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดขนาด ความยาว และความลาดชันของท่อที่จะนำมาใช้
- 2) คำนวณความเร็วการไหลในท่อ กรณีการไหลแบบเต็มท่อ
- 3) คำนวณผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ จากสมการข้างต้น
- 4) ใช้แผนภูมิการไหลกรณีแบบเต็มท่อในรูปที่ 2.1-14 (ท่อกกลม) และรูปที่ 2.1-15 (ท่อเหลี่ยม) คำนวณอัตราการไหลผ่านท่อลอด ซึ่งมีวิธีการดังนี้
 - 4.1) ลากเส้นตรงเชื่อมต่อระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกับความยาวท่อ ผ่านแนวเส้น turing line
 - 4.2) ลากเส้นตรงจากค่าผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ ผ่านจุดตัดบนเส้น turing line ที่ได้จากการลากเส้นตามข้อ 4.1) ไปตัดบนแกน Discharge ด้านซ้ายมือ
 - 4.3) จุดตัดบนแกน Discharge คืออัตราการไหลผ่านท่อลอด ภายใต้เกณฑ์การออกแบบของขนาด ความยาว และความลาดชันของท่อที่กำหนด



ตารางที่ 2.1-3 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ (Ke)

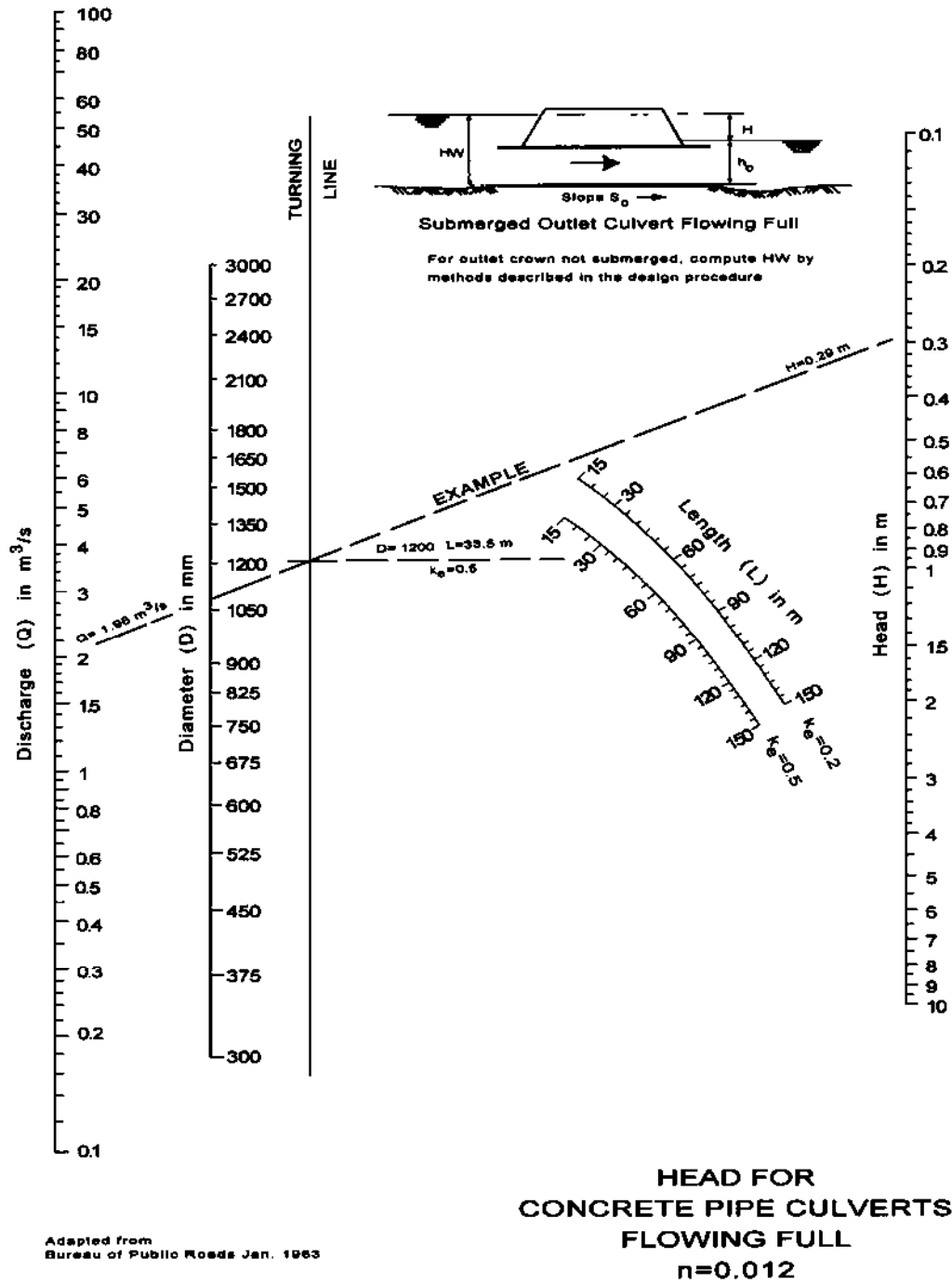
ประเภทของโครงสร้างและการออกแบบที่ปากท่อ	สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ Ke
<ul style="list-style-type: none">● <u>Pipe, Concrete</u><ul style="list-style-type: none">Projecting from fill, socket end (groove – end) 0.2Projecting from fill, sq.cut end 0.5Headwall or headwall and wingwalls<ul style="list-style-type: none">Socket end of pipe (groove-end) 0.2Square-edge 0.5Rounded (radius = D/12) 0.2Mitered to conform to fill slope 0.7*End-Section conforming to fill slope 0.5Beveled edger, 33.7^o or 45^o bevels 0.2Side-or slope-tapered inlet 0.2	
<ul style="list-style-type: none">● <u>Pipe, or Pipe-Arch Corrugated Metal</u><ul style="list-style-type: none">Projecting from fill (no headwall) 0.9Headwall or headwall and wingwalls square-edge 0.5Mitered to conforming to fill slope 0.7*End-Section conforming to fill slope 0.5Beveled edges,33.7^o or 45^o bevels 0.2Side-or slope-tapered inlet 0.2	
<ul style="list-style-type: none">● <u>Box, Reinforced Concrete</u><ul style="list-style-type: none">Headwall parallel to embankment (no wingwalls)<ul style="list-style-type: none">Square-edged on 3 edges 0.5Rounded on 3 edges to radius of D/12 or B/12 or beveled edges on 3 sides 0.2Wingwalls at 30^o to 75^o to barrel<ul style="list-style-type: none">Square-edged at crown 0.4Crown edged rounded to radius of D/12 or beveled top edge 0.2	



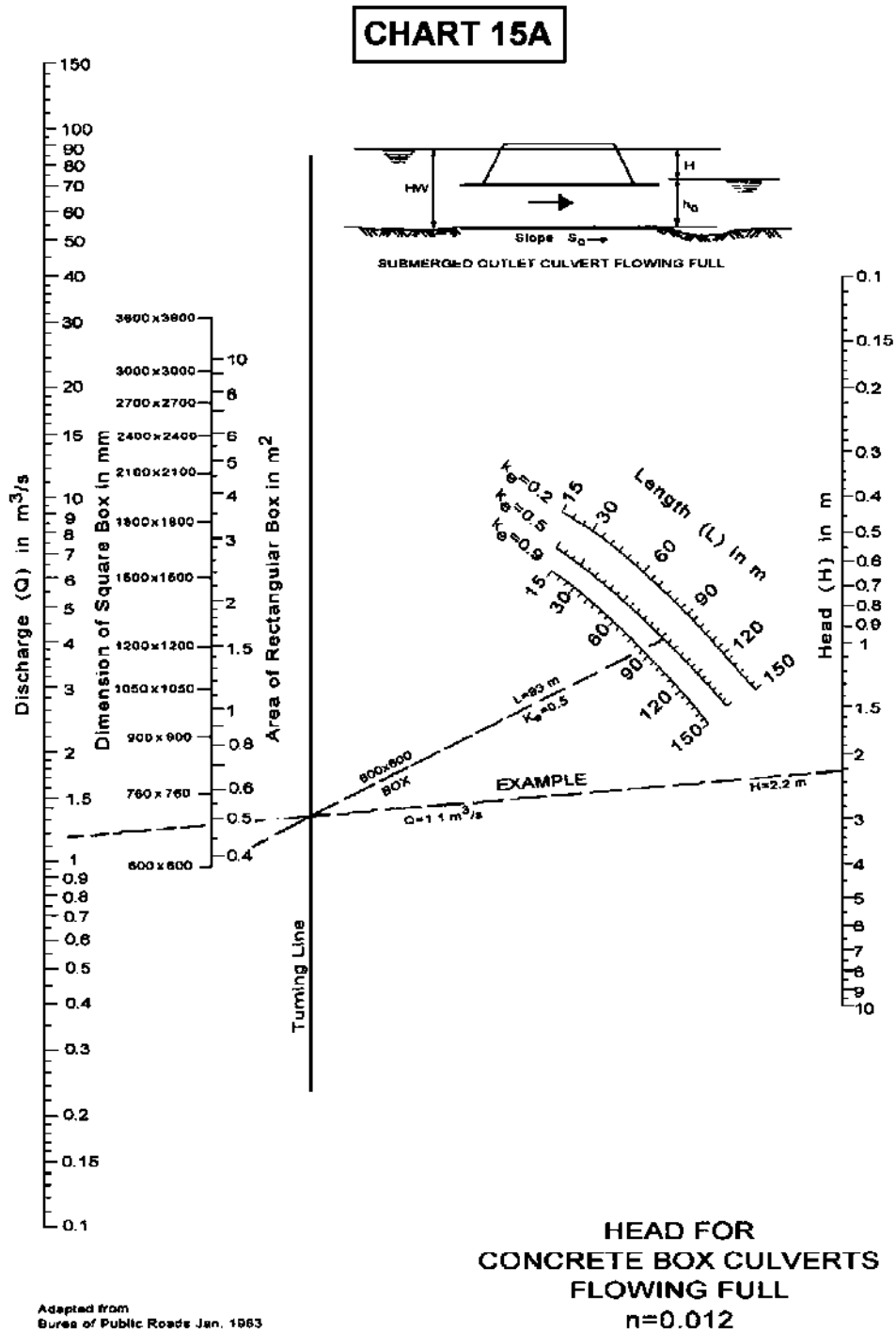
ตารางที่ 2.1-3 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ (Ke)

ประเภทของโครงสร้างและการออกแบบที่ปากท่อ	สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ Ke
Wingwall at 10 ⁰ to 25 ⁰ to barrel Square-edged at crown	0.5
Wingwalls parallel (extension of sides) Square-edged at crown	0.7
Side-or slope-tapered inlet	0.2

*Note: "End Sections conforming to fill slope," made of either metal or concrete, are the sections commonly available from manufacturers. From Limited hydraulic tests they are equivalent in operation to a headwall in both inlet and outlet control. Some end sections, incorporating a closed taper in their design have a superior hydraulic performance. These latter sections can be designed using the information given for the beveled inlet.



รูปที่ 2.1-14 แผนภูมิคำนวณหาผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ สำหรับท่อคอนกรีตกลม
 ลักษณะการไหลแบบ Outlet Control

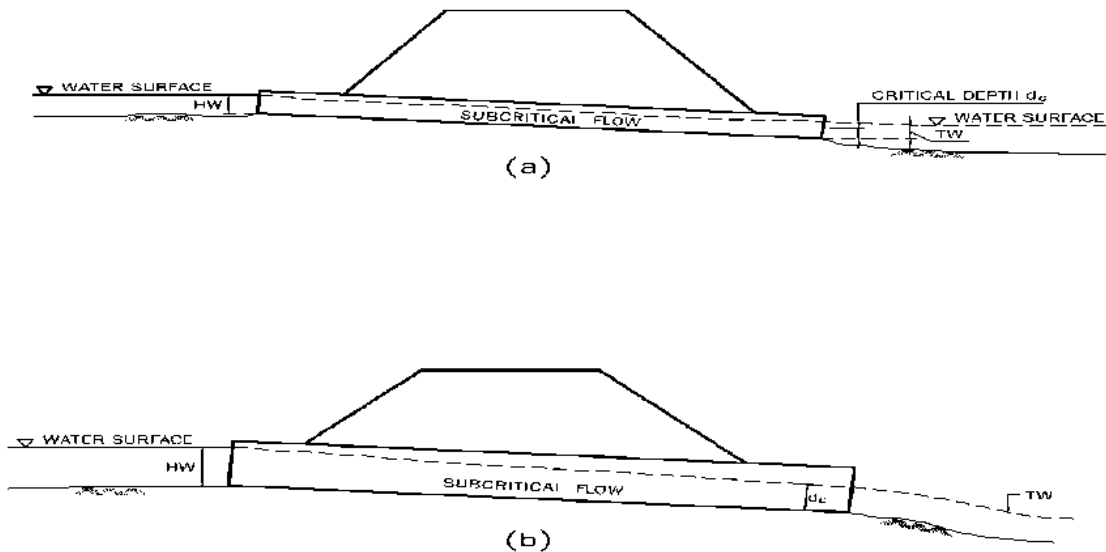


รูปที่ 2.1-15 แผนภูมิคำนวณหาผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อสำหรับท่อเหลี่ยม
 ลักษณะการไหลแบบ Outlet Control

(2.2) การไหลแบบน้ำไม่เต็มท่อ (Partly Full Flow)

การไหลลักษณะนี้ความลาดเอียงของท่อจะต้องเป็นแบบลาด (Mild Slope คือ ความลาดเอียงแบบลาดจะมีค่าน้อยกว่าความลาดเอียงแบบวิกฤติ (Critical Slope) ซึ่งการไหลบน Mild Slope นี้จะเป็นแบบ Subcritical Flow หรือการไหลที่มี Froude Number น้อยกว่า 1) และปากท่อจะไม่จมน (Submerged) ได้ระดับน้ำ แบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกระดับท้ายน้ำสูงกว่าระดับความลึกวิกฤติ (Critical Depth) ก่อนถึงปลายท่อ (รูปที่ 2.1-16a) การไหลจะเป็นแบบ Subcritical Flow ตลอดความยาวท่อ อีกประเภทหนึ่ง (รูปที่ 2.1-16b) ระดับท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับความลึกวิกฤติ ระดับน้ำจะโค้งต่ำลงตรงปลายท่อ และจะมีหน้าตัดหนึ่ง ซึ่งความลึกของน้ำเท่าความลึกวิกฤติพอดี

การคำนวณหาปริมาณน้ำในกรณีเป็น Outlet Control และน้ำไหลไม่เต็มท่อนี้เป็นเรื่องยุ่งยากมากดังนั้นในการออกแบบจึงมักจะหลีกเลี่ยงการไหลประเภทนี้เสมอ



รูปที่ 2.1-16 ลักษณะการไหลผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลไม่เต็มท่อ



(3) การออกแบบป้องกันการกัดเซาะ

(3.1) ความเร็วภายในท่อ

ความเร็วต่ำสุดภายในท่อไม่ควรน้อยกว่า 0.7 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการตกตะกอน
ความเร็วสูงสุดไม่ควรเกิน 6.00 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของผิวท่อที่เกิดจาก
ตะกอนหยาบ ความเร็วสูงสุดภายในท่อที่นิยมใช้กันประมาณ 2.00 - 3.00 เมตร/วินาที

(3.2) ความเร็วภายในท่อ

ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อ ไม่ควรจะให้สูงจนทำให้เกิดการกัดเซาะพื้นขึ้นได้
เว้นเสียแต่จะมีการทำโครงสร้างเพื่อใช้ป้องกันการกัดเซาะ ความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ
ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่พื้น ดังนี้

- หินขนาด 30 ซม. ความเร็วไม่ควรเกิน 6.0 เมตร/วินาที
- หินขนาด 25 ซม. ความเร็วไม่ควรเกิน 5.0 เมตร/วินาที
- หินขนาด 15 ซม. ความเร็วไม่ควรเกิน 3.0 เมตร/วินาที
- หินขนาด 10 ซม. ความเร็วไม่ควรเกิน 2.5 เมตร/วินาที
- หินขนาด 5 ซม. หรือปลุกหญ้า ความเร็วไม่ควรเกิน 2.0 เมตร/วินาที
- ดินเหนียวแข็ง (Firm Loam or very stiff coarse clay) ความเร็วไม่ควรเกิน 1.2 เมตร/วินาที
- ดินทรายหรือดินตะกอน (Sandy or Silty Clay) ความเร็วไม่ควรเกิน 1.0 เมตร/วินาที

สำหรับทางน้ำที่มีการป้องกันโดยการปูหินทิ้งระยะทางอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

(3.3) ความลาดเอียงของท่อ

ความลาดเอียงของท่อตลอดควรออกแบบให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับความลาดเอียงของพื้นลำธาร
ความลาดเอียงที่น้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5% (1 on 200) ถึง 0.33% (1 on 300)
ถ้าเป็นไปได้ควรวางท่อให้เอียงประมาณ 1% หรือมากกว่า เพื่อที่การไหลจะได้อยู่ในลักษณะ
ของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

ในกรณีการไหลแบบ Inlet Control ความลาดเอียงสูงสุดที่ยอมให้ไม่ควรเกิน 15% เนื่องจากจะทำให้
ให้ความเร็วของน้ำในท่อสูง (ดังตารางที่ 2.1-4 และ ตารางที่ 2.1-5) จนทำให้ท่อเกิดการสึกกร่อนได้



ตารางที่ 2.1-4 ความเร็วเฉลี่ยของการไหลบ่าผิวดิน

ประเภทของท้องน้ำ	ความเร็วการไหล (m/s)						
	ความลาดชัน(%)						
	0-3	4-7	8-10	11-15	16-20	21-25	26-30
Woodland or Jungle	0.15	0.30	0.45	0.55	0.65	0.80	1.10
Pasture	0.25	0.50	0.70	0.80	0.90	1.25	1.40
Cultivated (Row Crop)	0.30	0.60	0.90	1.10	1.20	1.35	1.50
Pavement	1.50	3.60	4.75	5.50	-	-	-
Natural Draw(Not Well Defined)	0.25	0.75	1.25	1.80	-	-	-

ตารางที่ 2.1-5 ความเร็วการไหลในลำน้ำโดยประมาณ

ความลาดชันเฉลี่ยลำน้ำ (%)	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
1-2	0.60
2-4	0.90
6-10	1.50
6-10	1.50
10-15	2.50

(4) ขั้นตอนการออกแบบ

การออกแบบท่อลอด จะต้องอาศัยวิธีการสมมุติค่า และทดสอบ (Trial and error) คือเลือกขนาดท่อขนาดหนึ่ง แล้วตรวจสอบดูว่าน้ำจะสามารถไหลผ่านได้ ตามอัตราที่กำหนดไว้หรือไม่ ปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีการเช่นนี้ คือ ในขั้นแรกเราไม่ทราบว่าลักษณะการไหลจะเป็นแบบ Inlet Control หรือ Outlet Control โดยทั่วไปถ้าความลาดเอียงของท่อเท่ากับหรือมากกว่า 1% การไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้าน้อยกว่า 0.5% จะเป็นแบบ Outlet Control แต่เพื่อความแน่นอนจะต้องทดสอบลักษณะการไหลเสมอ



2.1.3. ทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับแบบจำลองซึ่งจะนำมาศึกษาในโครงการ ต้องสามารถจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมและการไหลในท่อน้ำท่วม แบบ 2 มิติ ได้ ซึ่งลักษณะการไหลแบบ 2 มิติ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอนุรักษ์พลังงานและสมการโมเมนตัม (Conservation of mass and momentum equation) ดังนี้

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ & + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2-h^2} - \frac{1}{P_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q \\ & - fVv_x + \frac{h}{P_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} \\ & + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2-h^2} - \frac{1}{P_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p \\ & - fVv_y + \frac{h}{P_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

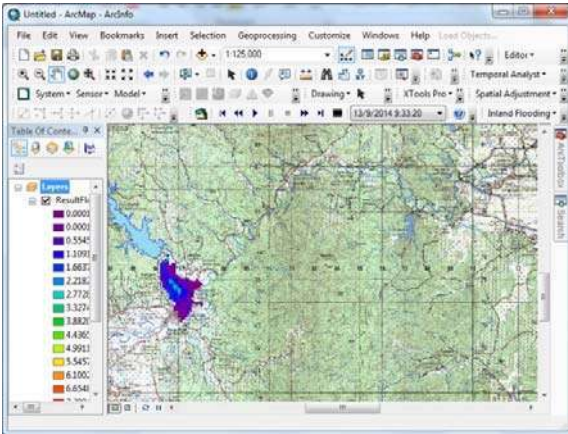
โดยที่	$h(x, y, t)$	คือ	ความลึกน้ำ (= $\zeta, -d, m$)
	$d(s, y, t)$	คือ	ความลึกน้ำที่ผันแปรตามเวลา (ม.)
	$\zeta(x, y, t)$	คือ	ระดับผิว (ม.)
	$p, q(x, y, t)$	คือ	ปริมาณการไหลในแนว x และ y (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/ม.)
	(u, v)	คือ	ความเร็วเฉลี่ยตามความลึกในแนว x และ y
	$C(x, y)$	คือ	ค่าความเสียดทาน Chezy (ม. ^{1/2} /วินาที ²)
	$f(V)$	คือ	แฟคเตอร์แรงต้านทานของลม



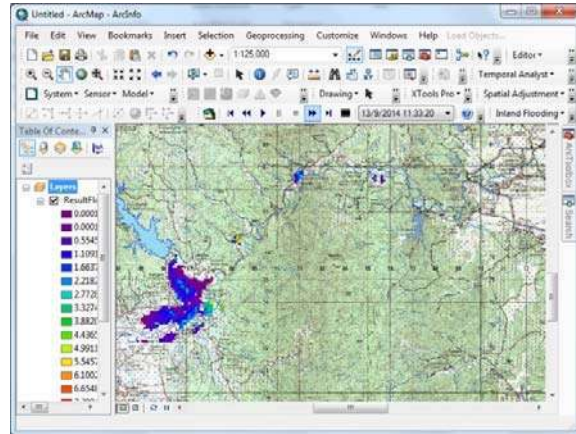
$V, V_x, V_y (x, y, t)$	คือ	ความเร็วลมและส่วนประกอบในแนว x และ y (ม./วินาที)
$\Omega (x, y)$	คือ	พารามิเตอร์ Coriolis ตามแนวละติจูด (วินาที ⁻¹)
$P_a (x, y, t)$	คือ	ความกดอากาศ (กก./ม./วินาที ²)
ρ_w	คือ	ความหนาแน่นน้ำ (กก./ลูกบาศก์เมตร)
x, y	คือ	พิกัดเชิงพื้นที่ (ม.)
t	คือ	เวลา (วินาที)
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$	คือ	ส่วนประกอบของแรงกดทางข้างประสิทธิผล

แบบจำลองที่ใช้ศึกษาการไหลหลาก จะมีฟังก์ชันในการคำนวณที่สำคัญ ได้แก่ การจำลองการเปลี่ยนแปลงผืนเป็นน้ำท่า การจำลองการไหลใน 1 มิติ คือการไหลในลำน้ำ และการจำลองการไหลแบบ 2 มิติ คือการไหลในทุ่งน้ำท่วม (Flood Plain) โดยที่ผลการคำนวณแสดงในรูปของการเปลี่ยนแปลงกราฟน้ำท่าของปริมาณน้ำหลาก ระดับน้ำ ความเร็วกระแสน้ำ และช่วงเวลาในการเคลื่อนตัวของคลื่นน้ำหลาก รวมทั้งสามารถแสดงแผนที่น้ำท่วม (Inundation Map) ที่เกิดจากระดับน้ำและความเร็วกระแสน้ำ ในบริเวณพื้นที่ที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากได้

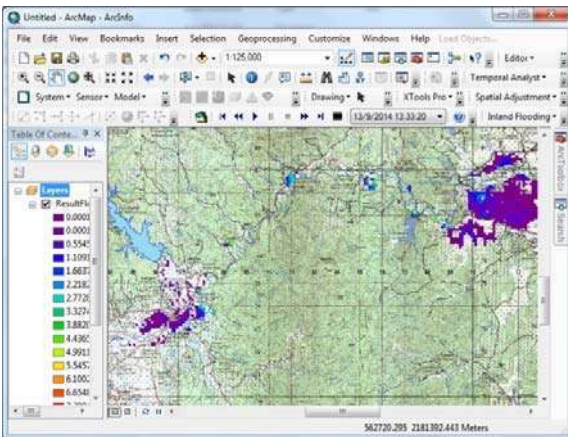
การศึกษากการเคลื่อนตัวของน้ำหลากในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและทันสมัย สำหรับทำการคำนวณและแสดงผลแบบ 2 มิติ (2-Dimensional) จะนำมาใช้ในการศึกษาคั้งนี้ คือ แบบจำลอง MIKE FLOOD เพื่อศึกษาสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำในภาวะอุทกภัย ที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ โดยที่ MIKE FLOOD เป็นแบบจำลองการไหลของน้ำหลากที่รวมคุณสมบัติการจำลองสภาพการไหลในแม่น้ำหรือทางน้ำเปิด (River Flow) ของแบบจำลอง MIKE11-HD (การไหลแบบ 1 มิติ) และการไหลบนพื้นที่ราบน้ำท่วม (Floodplain) ของแบบจำลอง MIKE21 (การไหลแบบ 2 มิติ) ซึ่งจะใช้เทคนิคการจำลองแบบ 1 มิติ ควบคู่กับแบบ 2 มิติ (1-D Couples 2-D) โดยแบบจำลอง 2 มิติ สามารถสร้างจากข้อมูลค่าระดับพื้นที่ (Digital Elevation Model, DEM) และสามารถจำลองการไหลในทางน้ำเปิด การไหลผ่านอาคารชลศาสตร์รวมทั้งใช้วิเคราะห์สภาพการไหลบ่าอันเกิดจากการพังทลายของเขื่อนได้ ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง MIKE FLOOD แสดงดังรูปที่ 2.1-17 ทำให้ทราบขอบเขตแผนที่น้ำท่วมและแผนที่ความเร็วกระแสน้ำ เมื่อมีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่แตกต่างกัน ดังนั้นแบบจำลอง MIKE FLOOD จะรวมเอาคุณสมบัติเด่นของ MIKE11 และ MIKE21 เข้าด้วยกัน ทำให้การจำลองมีความใกล้เคียงกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น



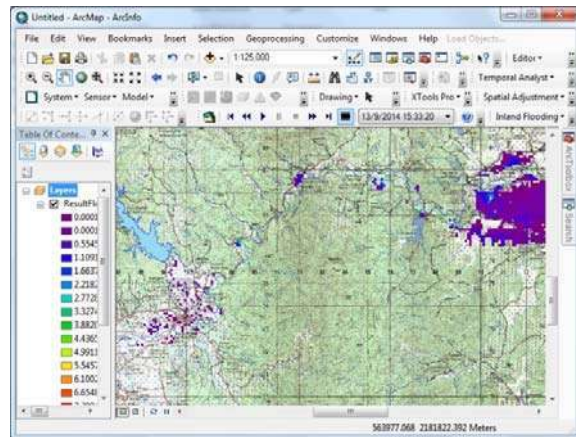
(ก) ชั่วโมงที่ 1



(ข) ชั่วโมงที่ 3



(ค) ชั่วโมงที่ 5



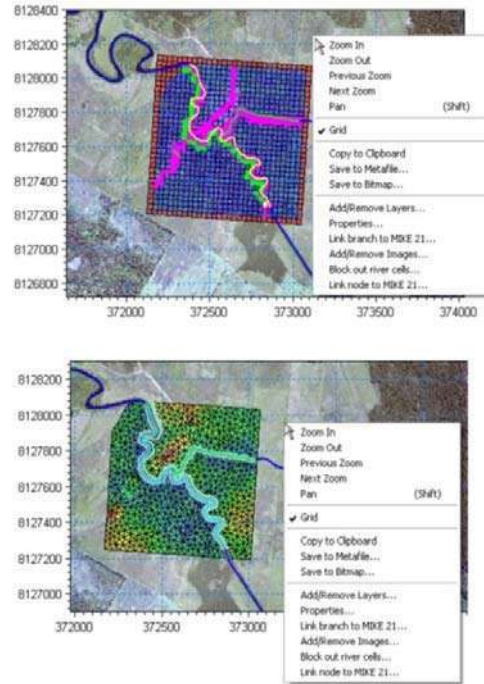
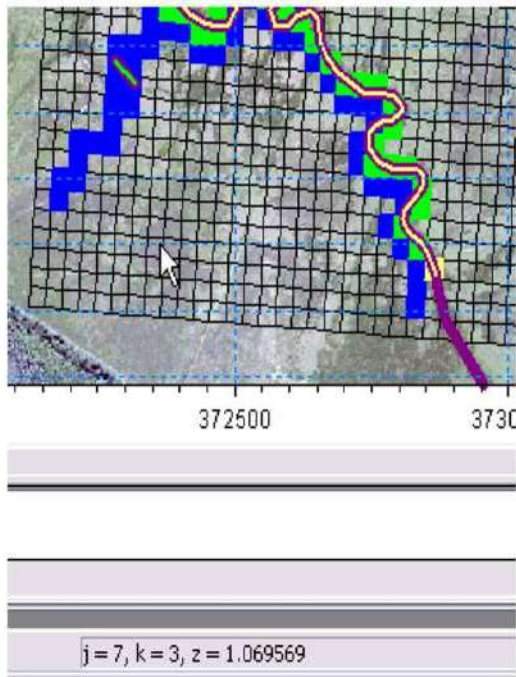
(ง) ชั่วโมงที่ 7

รูปที่ 2.1-17 ตัวอย่างการจำลองการไหลในเวลาต่างๆ ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนด ด้วยแบบจำลอง MIKE FLOOD และโปรแกรม ArcGIS 10



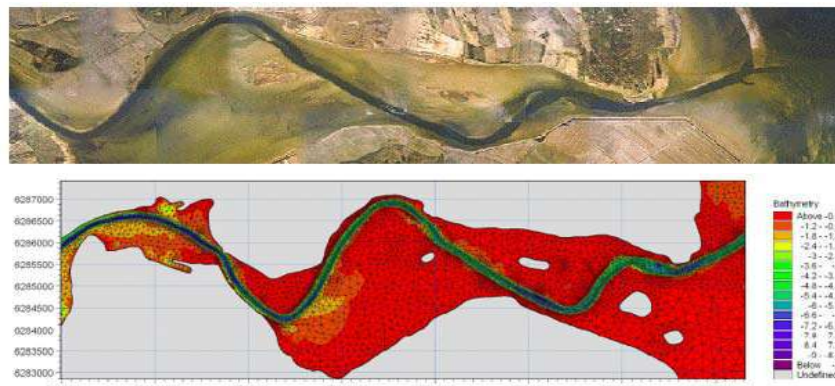
จุดเด่นของแบบจำลอง MIKE FLOOD

- 1) สามารถคำนวณการไหลแบบ 1 มิติ โดยใช้สมการ Sain-venant (สมการโมเมนตัมและสมการความต่อเนื่อง) รวมไปถึงการคำนวณการไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ต่างๆ และสิ่งกีดขวางลำน้ำ เช่น ฝาย ประตูระบายน้ำ ท่อลอด เครื่องสูบน้ำ แก้มลิง สะพาน
- 2) ใช้แบบจำลอง NAM เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าจากฝน
- 3) การคำนวณการไหลแบบ 2 มิติ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.1-18 สามารถคำนวณแบบกริดสี่เหลี่ยม และแบบ Mesh Network เนื่องจากการคำนวณการไหลแบบ 2 มิติ ต้องจำลองพื้นที่ศึกษาในรูปแบบพื้นที่ที่เล็กๆ ต่อกัน ทั้งนี้แบบจำลอง MIKE FLOOD สามารถจำลองพื้นที่ในการคำนวณเป็นรูปแบบกริด แต่เนื่องจากแม่น้ำมีความคดเคี้ยว การจำลองพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ริมน้ำอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ปัจจุบันแบบจำลอง MIKE FLOOD สามารถจำลองพื้นที่ของการไหล 2 มิติ แบบ Mesh ซึ่งสามารถจำลองพื้นที่ที่ริมน้ำที่มีความคดเคี้ยวใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ดังรูปที่ 2.1-19
- 4) สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม ArcGIS ได้โดยการเตรียมข้อมูลนำเข้าและการแสดงผลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยที่โปรแกรม MIKE FLOOD มี Plugin ที่แสดงผลผ่านโปรแกรม ArcGIS ดังรูปที่ 2.1-20 ทั้งนี้เมื่อคำนวณการไหลเสร็จสิ้น สามารถนำแฟ้มข้อมูลผลการคำนวณมาเปิดด้วยโปรแกรม ArcGIS และประมวลผลเชิงพื้นที่ได้ทันที
- 5) ปัจจุบันโปรแกรม MIKE11 พัฒนาการคำนวณแบบ Parallel ซึ่งหมายความว่าสามารถคำนวณแบบคู่ขนาน จึงทำให้คำนวณได้รวดเร็ว
- 6) ปัจจุบันโปรแกรม MIKE FLOOD สามารถติดตั้งบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows ทั้งแบบ 32 Bit และ 64 Bit
- 7) แบบจำลอง MIKE ได้ใช้งานอย่างแพร่หลายในองค์กรต่างๆ อาทิเช่น กรมชลประทาน กรมควบคุมมลพิษ กรมทรัพยากรน้ำ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.)
- 8) มีศูนย์ประสานงานและให้คำปรึกษาทางด้านเทคนิคของแบบจำลอง MIKE ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย แผนกวิศวกรรมแหล่งน้ำ และการจัดการ ตู๊ ปณ.4 คลองหลวง ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-524-5564 โดยสามารถติดต่อสอบถามปัญหาการใช้งานกับผู้เชี่ยวชาญได้ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

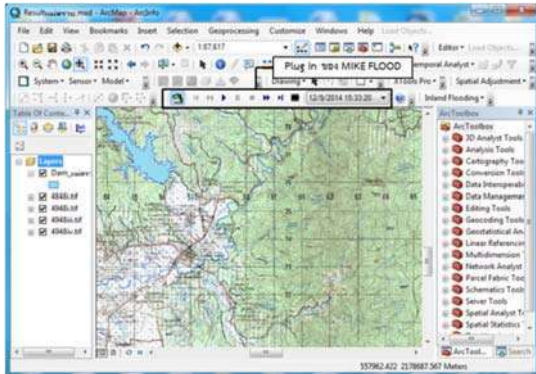


(ก) รูปแบบลำน้ำที่มีความคดเคี้ยว และการจำลองพื้นที่แบบกริด (ข) เปรียบเทียบรูปแบบกริด และ รูปแบบ Mesh

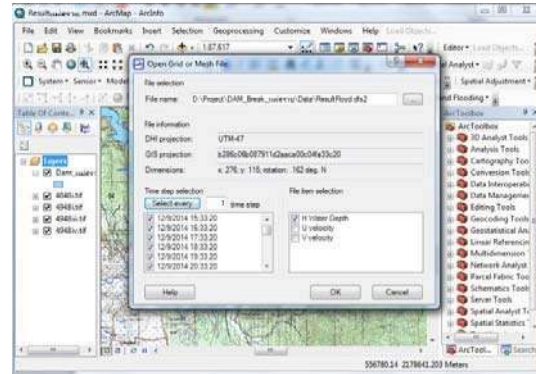
รูปที่ 2.1-18 ตัวอย่างรูปแบบการคำนวณแบบ 2 มิติของแบบจำลอง MIKE FLOOD
ที่มา : Manual of MIKE Flood, 2012



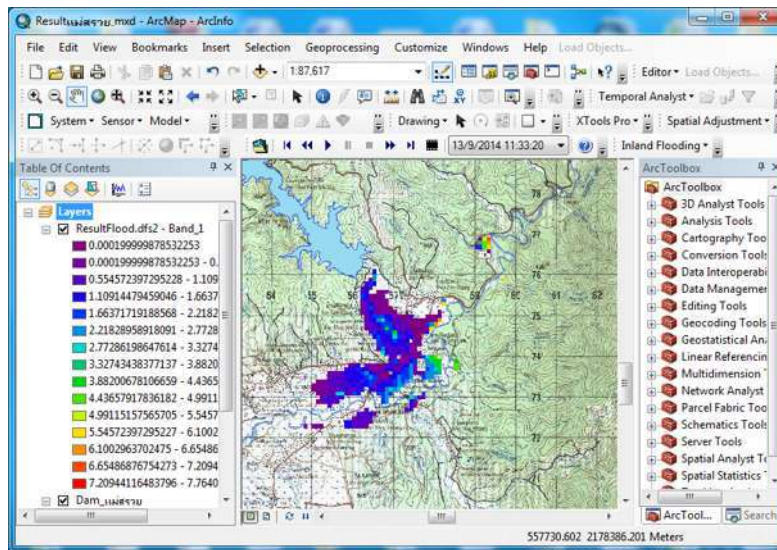
รูปที่ 2.1-19 ตัวอย่างการจำลองพื้นที่แบบ Mesh ในการคำนวณแบบ 2 มิติของแบบจำลอง MIKE FLOOD
ที่มา : Manual of MIKE Flood, 2012



(ก) โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
ที่ติดตั้ง Plugin ของ MIKE FLOOD



(ข) การเปิดผลการคำนวณของ MIKE FLOOD
ด้วยโปรแกรม ArcGIS ผ่าน Plugin ของ MIKE FLOOD



(ค) การซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ของผลการคำนวณ และชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

รูปที่ 2.1-20 การเปิดผลการคำนวณผ่านโปรแกรม ArcGIS



2.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

ในการศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่ปรึกษาจะทำการทบทวนเนื้อหาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางและทฤษฎีที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งจะดำเนินงานในโครงการนี้ โดยผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงได้ดังนี้

สนิท วงษา และยาสุยูกิ ชิมิซึ (2555) ได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรม Nays2D Flood เพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านชลศาสตร์ของน้ำหลากของเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ภาคกลางปี 2554 ซึ่งโปรแกรม Freeware นี้ได้พัฒนาโดย The Foundation of Hokkaido River Disaster Prevention Research Center (RIC) แห่งประเทศญี่ปุ่น เป็นโปรแกรมที่สามารถใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพ และความแม่นยำสูง ได้แสดงผลการจำลองสถานการณ์น้ำท่วมใหญ่ภาคกลางของประเทศไทยปี 2554 เพื่อทดสอบความสามารถของโปรแกรม พบว่าโปรแกรม Nays2D Flood สามารถลอกเลียนพฤติกรรมด้านชลศาสตร์ของน้ำหลากได้ผลเป็นอย่างดีตามที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งจะได้นำไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินผลกระทบเมื่อมีการสร้างคันกั้นน้ำและทางระบายน้ำหลากในช่วงเกิดน้ำหลากและนำเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่อไป

สนิท วงษา และคณะ (2552) ได้ทำการประยุกต์ใช้โปรแกรม RIC-Nays ในการคำนวณด้านชลศาสตร์และพลวัตพื้นฐานท้องน้ำ ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวนำเสนอโปรแกรม RIC-Nays และการประยุกต์ใช้โปรแกรม ไปประยุกต์ใช้คำนวณเพื่อศึกษาพฤติกรรมด้านชลศาสตร์การไหลของน้ำในแม่น้ำทุ่งน้ำหลาก และพลวัตของสัญญาณท้องน้ำภายใต้สภาวะการไหลแบบคงที่และแบบไม่คงที่ แผนที่และแม่น้ำหรือภาพถ่ายสามารถนำไปภาพพื้นหลังเพื่อนำเสนอและแสดงผลบนนั้นได้

ไพโรจน์ (2543) ได้กล่าวว่าในแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) ตัวแปรที่ทราบค่า (Input) ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ตัวแปรที่ได้ออกมา (Output) คือปริมาณน้ำท่า หรือตัวแปรที่ทราบค่าคือปริมาณน้ำด้านเหนือน้ำ และตัวแปรที่ได้ออกมาคือปริมาณน้ำท่าด้านท้ายน้ำ การประยุกต์ใช้โปรแกรมแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำฝนของกลุ่มน้ำกับปริมาณน้ำฝนที่แปรเปลี่ยนเป็นปริมาณน้ำท่าในลำน้ำที่แปรผันไปตามเวลา รวมทั้งการวิเคราะห์คำนวณกราฟน้ำท่า (Hydrograph) ของระบบลุ่มน้ำ แบบจำลองที่สามารถใช้วิเคราะห์คำนวณข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนเป็นน้ำท่า ได้แก่ HEC-1 HEC-HMS และ MIKE11 เป็นต้น

ธนะ (2544) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำหลาก ในการกำหนดนโยบายการระบายน้ำในช่วงน้ำหลาก สำหรับอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์ เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อตัวเขื่อน และลดความเสี่ยงจากการเกิดอุทกภัยด้านท้ายน้ำน้อยที่สุด โดยการวางแผนและกำหนดนโยบาย เพื่อควบคุมปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำให้เหมาะสมกับปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำตลอดจนเงื่อนไขทางอุทกนิยามวิทยา อุทกวิทยา ด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ



สุธี อังคะศิริกุล (2545) ได้สร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้หน่วยสำหรับลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำปิงวังรวมกัน และได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเกิดอัตราการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (tp) กับลักษณะสมบัติทางกายภาพของลุ่มน้ำ (LLC/\sqrt{S}) และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (qp/A) เป็นฟังก์ชันของเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด (tp) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้ $tp = 0.001 (LLC/\sqrt{S})1.3625$, $qp/A = 1.784 (tp) - 1.0907$ สำหรับลุ่มน้ำปิง และ $tp = 0.0003 (LLC/\sqrt{S})1.2292$, $qp/A = 1.777 (tp) - 1.0876$ สำหรับลุ่มน้ำปิง-วังรวมกัน ได้คำนวณความไม่แน่นอนของกราฟหนึ่งหน่วยท่าที่วิเคราะห์ขึ้น พบว่าอัตราการไหลในช่วงต้นมีค่าแปรปรวนมากกว่าอัตราการไหลในช่วงท้าย

สวัสดี หาญกุดตุ้ม (2548) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ HEC-HMS ประเมินศักยภาพการลดปริมาณน้ำหลากสูงสุด ในพื้นที่ลุ่มน้ำชีตอนบนเมื่อมีการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ เมื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการลดอัตราการไหลสูงสุดเมื่อมีอ่างเก็บน้ำในกรณีต่าง ๆ พบว่า ถ้ามีอ่างเก็บน้ำเพียงแห่งเดียว กรณีมีอ่างเก็บน้ำเขื่อนชีบน จะสามารถลดอัตราการไหลสูงสุดได้มากที่สุด ถ้ามีอ่างเก็บน้ำ 2 แห่ง กรณีมีอ่างเก็บน้ำเขื่อนชีบนและอ่างเก็บน้ำเขื่อนยางนาดี จะสามารถลดอัตราการไหลสูงสุดได้มากที่สุด

วิษุวัตก์ แต่สมบัติ และสุประภาพร พัฒน์สิงห์เสนีย์ (2552) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบลุ่มน้ำ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ชุดของแบบจำลอง MIKE11NAM/HD/GIS โดยแบบจำลอง MIKE11-NAM จะถูกใช้ในการสร้างข้อมูลปริมาณการไหลในลุ่มน้ำที่ไม่มีสถานีวัดน้ำท่าและใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าให้กับแบบจำลอง MIKE11-HD ซึ่งจะใช้ในการศึกษาการไหลแบบหนึ่งมิติของน้ำในแม่น้ำเลย ส่วนแบบจำลอง MIKE11-GIS จะใช้ในการสร้างแผนที่น้ำท่วมร่วมกับข้อมูลแผนที่ฐานภูมิประเทศ (DEM) สำหรับมาตรการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเลยได้ถูกคัดเลือกมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้จำนวน 4 มาตรการประกอบด้วย 1) การสร้างคลองผันน้ำบริเวณอำเภอเมืองเลย 2) การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำ 3) การขุดลอกและขยายลำน้ำบริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำ และ 4) การก่อสร้างฝายยางจำนวน 4 แห่ง ผลการศึกษาพบว่ามาตรการบรรเทาอุทกภัยด้วยมาตรการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำเลยมีความเหมาะสมที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพระบบลุ่มน้ำในปัจจุบัน โดยเมื่อเลือกใช้กรณีศึกษาเป็นเหตุการณ์อุทกภัยปี พ.ศ. 2554 มาตรการดังกล่าวจะช่วยลดปริมาณการไหลที่อำเภอเมืองเลยได้เท่ากับ 387.6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 24.4 และยังช่วยลดระดับน้ำท่วมและพื้นที่น้ำท่วมลงได้ถึง 1.31 เมตร และ 12.13 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ



ภาณุพงษ์ ทีฆบุญญา (2558) ได้ใช้แบบจำลอง MIKE FLOOD ในการศึกษา น้ำท่วม ของจังหวัดนครราชสีมา ที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2553 โดยในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดทำแผนที่น้ำท่วมในลุ่มน้ำลำตะคอง ด้วยแบบจำลอง MIKE FLOOD ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองย่อย MIKE11-NAM และแบบจำลองย่อย MIKE11-HD และแบบจำลอง MIKE21-HD โดยได้ทำการสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ด้วยข้อมูลน้ำท่าในลำน้ำ ปี พ.ศ. 2553 และ 2554 ตามลำดับ รวมถึงการเปรียบเทียบขอบเขตน้ำท่วมที่ได้จากแบบจำลอง MIKE FLOOD กับภาพถ่ายดาวเทียมของ GISTDA ในปี พ.ศ. 2553 ซึ่งผลการวัดประสิทธิภาพแบบ Confusion Matrix มีค่าเท่ากับ 92.7% - 93.6% และผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง MIKE FLOOD สามารถแสดงภาพรวมการเกิดน้ำท่วม ในระหว่างวันที่ 14-30 ตุลาคม พ.ศ.2553 มีระดับน้ำเอ่อล้นตลิ่งสูงสุดเท่ากับ 2.655 เมตร ค่าระดับน้ำต่ำสุดเท่ากับ 0.204 เมตร และค่าระดับน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 1.129 เมตร ส่งผลให้เกิดขอบเขตน้ำท่วม สูงสุดเท่ากับ 206.38 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเกิดขึ้นในวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ.2553 และมีขอบเขตน้ำท่วมต่ำสุด เท่ากับ 50.38 ตารางกิโลเมตร เกิดขึ้นในวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ.2553 นอกจากนี้ จากปริมาณน้ำฝน ณ คาบการเกิดซ้ำ 5 ปี, 10 ปี, 25 ปี, 50 ปี และ 100 ปี มีระดับน้ำเอ่อล้นตลิ่งสูงสุดเท่ากับ 1.372, 1.540, 1.833, 1.817 และ 2.655 เมตร ระดับน้ำต่ำสุดเท่ากับ 0.010, 0.024, 0.089, 0.013 และ 0.204 เมตร และค่า ระดับน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.560, 0.606, 0.698, 0.731 และ 1.129 เมตร ตามลำดับ ส่งผลให้เกิดขอบเขตน้ำท่วมสูงสุดเท่ากับ 87.25, 93.19, 135.31, 151.75 และ 206.38 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ

อริยะ อินทรา (2555) ได้ศึกษาระบบป้องกันและบรรเทาอุทกภัยกรณีศึกษา ลุ่มน้ำ ซี ตอนบน ในเขตจังหวัดชัยภูมิ โดยใช้แบบจำลอง MIKE FLOOD ซึ่งประกอบด้วย 2 แบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าและแบบจำลองสภาพการไหล มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจำลองสภาพน้ำท่วมในลุ่มน้ำซีตอนบน รวมถึงการกำหนดมาตรการในการบรรเทาอุทกภัยที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ซึ่งในการศึกษานี้ได้เสนอไว้ 3 แนวทาง ดังนี้ แนวทางที่ 1 คือการขุดลอกแม่น้ำชีและลำน้ำสาขา แนวทางที่ 2 คือการก่อสร้างคันกั้นน้ำป้องกันน้ำท่วม แนวทางที่ 3 คือ รวมแนวทางที่ 1 และ แนวทางที่ 2 เข้า ด้วยกัน โดยได้ทำการสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหลในช่วงปี พ.ศ. 2552 และพ.ศ.2553 ตามลำดับ กับสถานีวัดน้ำท่า E.21 โดยผลการคำนวณระดับน้ำ จากแบบจำลองสภาพการไหลมีความใกล้เคียงกับระดับน้ำจากการตรวจวัด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.72 ส่วนวิธีการแก้ไขปัญหา น้ำท่วม พบว่า วิธี ตามแนวทางที่ 3 ให้ผลการป้องกันน้ำท่วมได้ดีที่สุด รองลงมาคือ แนวทางที่ 1 และ แนวทางที่ 2 ตามลำดับ



อารียาและคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงการวิเคราะห์ฝนนอกแบบของพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง ซึ่งในการศึกษานี้ได้อาศัยวิธีการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของข้อมูลฝนสูงสุดรายนาที่ และรายชั่วโมงเพื่อวิเคราะห์ฝนนอกแบบในรูปของโค้งความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ (รอบปีการเกิดซ้ำ) โดยอาศัยข้อมูลน้ำฝนจากสถานีต่างๆ ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2533 ถึง 2553 จากนั้นทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ โค้งความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ (รอบปีการเกิดซ้ำ) ที่ผ่านมาของกรมชลประทานในปี พ.ศ. 2544 ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถเปรียบเทียบความต่างระหว่าง โค้งความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ (รอบปีการเกิดซ้ำ) ที่ปรับปรุงใหม่กับที่ได้มีการศึกษาไว้เดิมสำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้ดังนี้

ช่วงเวลา	ร้อยละความแตกต่าง								เฉลี่ย
	2	5	10	25	50	100	200	500	
15 นาที	32.30	27.59	25.56	22.47	22.63	21.57	17.20	20.32	23.71
30 นาที	39.91	39.72	39.56	38.06	39.49	39.38	34.84	39.38	38.79
45 นาที	33.36	33.26	33.05	31.62	32.94	32.92	28.61	32.84	32.33
1 ชั่วโมง	32.21	29.65	28.45	25.93	26.61	26.15	21.73	25.19	26.99
2 ชั่วโมง	27.79	19.61	16.18	11.99	11.32	9.81	5.34	7.32	13.67
3 ชั่วโมง	24.78	18.15	14.71	10.47	9.85	8.36	3.76	5.87	11.99
6 ชั่วโมง	20.36	9.87	5.45	0.19	-1.28	-2.97	-7.34	-5.84	2.31
12 ชั่วโมง	24.03	12.90	8.06	3.14	1.88	0.58	-4.38	-2.34	5.48
1 วัน	32.67	20.41	17.00	12.13	11.08	9.14	3.76	6.95	14.14
เฉลี่ย	29.71	23.46	20.89	17.33	17.17	16.10	11.50	14.41	18.82

จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีแนวโน้มที่ปริมาณฝนเพิ่มมากขึ้นเกือบทุกช่วงเวลา (duration time) และทุกรอบปีการเกิดซ้ำ โดยค่าเฉลี่ยร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มฝนนอกแบบที่เพิ่มขึ้นหากพิจารณาตามรอบปีการเกิดซ้ำ พบว่า ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 2 ปี มีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนสูงสุดคือประมาณร้อยละ 29.71 และหากพิจารณาตามช่วงเวลาการเกิดฝน (Duration time) พบว่า ช่วงเวลาที่ฝนตกประมาณ 30 นาที มีสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนสูงสุดคือประมาณร้อยละ 38.79

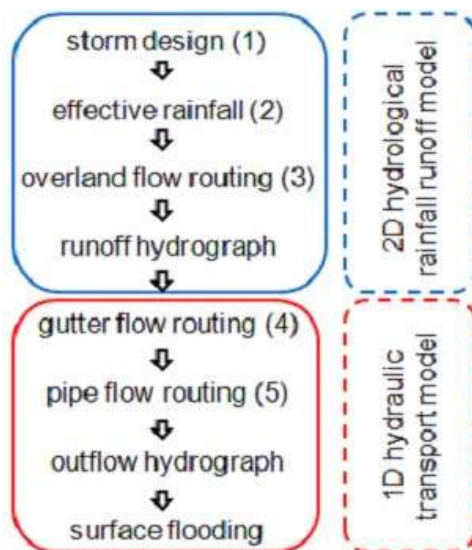
2.3. การออกแบบอาคารระบายน้ำในต่างประเทศ

ในการศึกษาทบทวนแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำในต่างประเทศ ที่ปรึกษาได้ทำการทบทวนและสรุปสาระสำคัญจากเอกสารต่างๆ ดังนี้

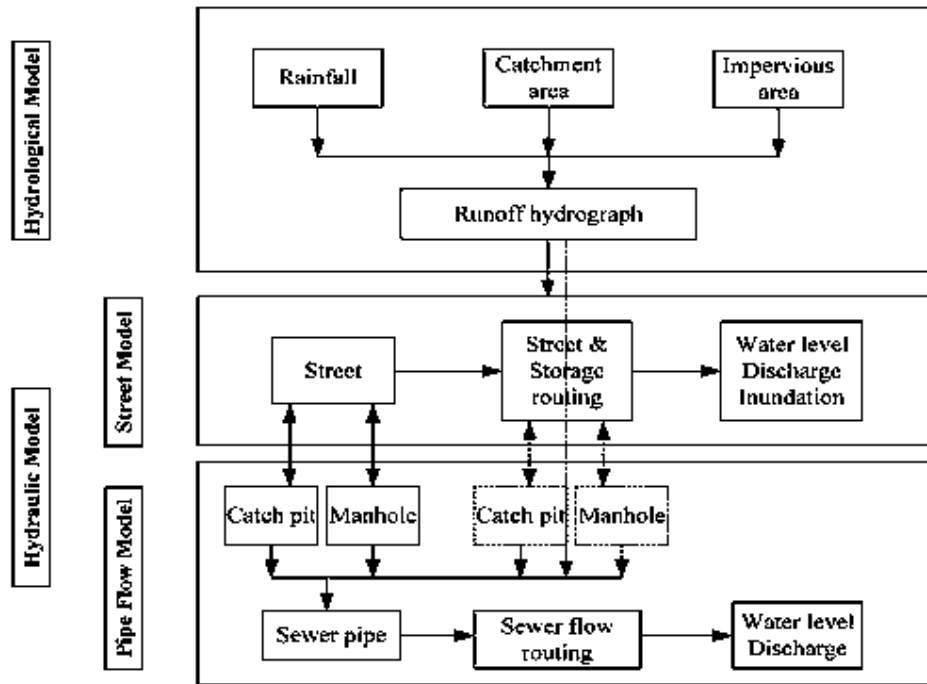
2.3.1. Dynamic modelling of urban rainfall runoff and drainage coupling DHI MIKE URBAN and MIKE FLOOD ประเทศออสเตรเลีย

การศึกษาทบทวนจาก Dynamic modelling of urban rainfall runoff and drainage coupling DHI MIKE URBAN and MIKE FLOOD พบว่า แนวคิดทั่วไปของแบบจำลองน้ำฝน น้ำท่า และการระบายน้ำ เป็นการใช่วิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ศึกษาปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในอดีตและเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการตอบสนองการระบายน้ำในอนาคตตามเงื่อนไขจำเพาะ

ส่วนใหญ่แบบจำลองน้ำฝนเป็นการคำนวณ ปรากฏการณ์และกระบวนการที่เกิดขึ้นในการไหลของน้ำท่า ซึ่งแบบจำลองประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1. แบบจำลอง น้ำฝน- น้ำท่า (Rainfall runoff modelling) เกี่ยวกับการปริมาณน้ำผิวดินที่เกิดขึ้น ซึ่งมีผลมาจากปริมาณน้ำฝนที่ตกมากเกินไป 2. แบบจำลองการขนส่งน้ำ (Transport modelling) ซึ่งเกี่ยวกับการจัดเส้นทางไหลของน้ำผ่าน โครงสร้างการระบายน้ำฝน ขั้นตอนและผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 แบบจำลอง แสดงในรูปที่ 2.3-1 และข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและความสัมพันธ์ของข้อมูลแสดงในรูปที่ 2.3-2



รูปที่ 2.3-1 ขั้นตอนทั่วไปของแบบจำลองน้ำท่า แบบ 2D-1D



รูปที่ 2.3-2 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของแบบจำลองของระบบการระบายน้ำ

จากรูปที่ 2.3-1 จะมีการอธิบายขั้นตอนต่างๆดังนี้

ขั้นตอน 1 การจำลองน้ำฝน (Storm design) จากข้อมูลที่เป็นค่าคงที่หรือจากข้อมูลจริง การเกิดฝนตกย่อมมีข้อมูลต่างๆ เช่น ความเข้มฝน ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาคาดการณ์ค่าการเกิดซ้ำโดยใช้ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (Intensity-Duration-Frequency (IDF) relationships)

ขั้นตอน 2 อัตราฝนส่วนเกิน คำนวณจากปริมาณน้ำฝนที่มีการคาดการณ์ไว้หักลดด้วยปริมาณน้ำที่สูญเสีย

ขั้นตอน 3 น้ำไหลบ่า (Overland flow/initial flow of runoff) มีการกำหนดเส้นทางการไหลโดยใช้การคำนวณจากสมการการไหลบ่า (Overland flow equations) การคำนวณในขั้นตอนนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ วิธีทางอุทกศาสตร์ (hydrologic routing) เป็นการประเมินกระแสน้ำของต้นน้ำ (upstream inflows) และการลดพื้นที่กักเก็บ โดยอ้างอิงกับหน่วยเวลาและ วิธีทางชลศาสตร์ (hydraulic routing) เป็นการประเมินอัตราการไหลและพื้นที่สำหรับไหลผ่านของระบบสุดท้าย ปริมาณฝนที่ตก (Rainfall Hyetograph) จะถูกเปลี่ยนเป็น กราฟน้ำท่าผิวดิน (Surface runoff hydrograph) กราฟน้ำท่าเป็นผลลัพธ์ของ แบบจำลองอุทกศาสตร์แบบ 2D และยังเป็นข้อมูลที่ใช้ในการจำลองวิธีชลศาสตร์แบบ 1D

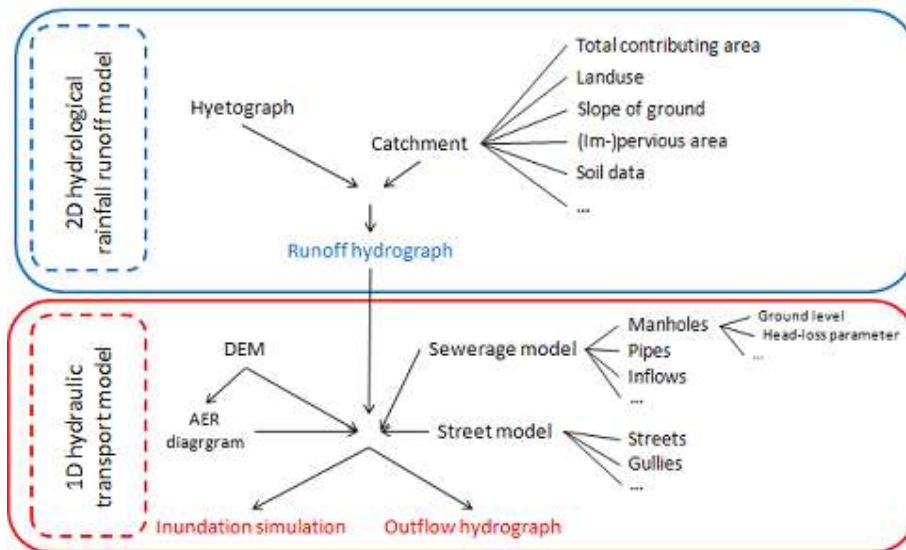
ขั้นตอน 4 การจัดเส้นทางรางน้ำต้องการจุดทางเข้าของท่อน้ำเสีย ข้อสำคัญของขั้นตอนนี้คือระยะเวลาที่น้ำจะไหลไปถึงจุดทางเข้า

ขั้นตอน 5 การจัดวางเส้นท่อสำหรับระบบระบายน้ำเสีย

ผลลัพธ์จากแบบจำลองวิธีชลศาสตร์ เป็นการไหลของกราฟน้ำท่า ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของความลึกระดับน้ำ อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยเวลาที่จุดรวมในระบบน้ำเสียและจุดปล่อยน้ำ

2.3.1.1. ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ระบุข้อมูลทั่วไปที่ใช้ในการประเมินแบบจำลอง แสดงในรูปที่ 2.3-3



รูปที่ 2.3-3 ข้อมูลและพารามิเตอร์ทั่วไปที่ใช้ในแบบจำลองน้ำฝน

จากรูปที่ 2.3-3 ข้อมูลสำหรับแบบจำลองอุทกศาสตร์น้ำฝน-น้ำท่า ต้องอาศัยข้อมูล กราฟปริมาณน้ำฝน (Hyetograph) ซึ่งแสดงถึงความเข้มฝนต่อหน่วยเวลา และลักษณะของพื้นที่รับน้ำ นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อมูลพื้นที่ทั้งหมด สัดส่วนการใช้ที่ดิน ข้อมูลดิน ข้อมูลความชันของพื้นที่

ข้อมูลสำหรับแบบจำลองชลศาสตร์ ต้องอาศัยแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (DEM) ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับค่าระดับ และลักษณะทางกายภาพของระบบระบายของเสียและถนน



2.3.1.2. แบบจำลองอุทกศาสตร์ แบบ 2D

แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เป็นแบบจำลองที่เป็นที่นิยมมากที่สุด การคำนวณปริมาณน้ำฝน-น้ำท่าจากปริมาณฝนส่วนเกินนั้นมี 2 ส่วนที่สำคัญ คือ การลดค่าสูญเสียเริ่มและค่าสูญเสียต่อเนื่อง และการจัดเส้นทางไหลของน้ำผิวดิน

1) การลดค่าการสูญเสีย

การคำนวณความสูญเสียเริ่มต้นนั้นมีสาเหตุมาจากภาวะเปียกของพื้นผิว (Surface wetting) และความจุของแอ่ง ความจุของแอ่งน้ำ d (mm) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$d = \frac{k_1}{\sqrt{s}}$$

เมื่อ k_1 = ค่าคงที่ของพื้นผิว (มีค่าอยู่ระหว่าง 0.28 สำหรับ พื้นผิวที่ก๊าซและน้ำไหลผ่านได้ และ 0.07 สำหรับพื้นผิวที่ก๊าซและน้ำไม่สามารถไหลผ่านได้)

s = ความชันของพื้นที่แอ่ง

แต่สำหรับการหาค่าสูญเสียต่อเนื่อง ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับพื้นที่ที่เป็นพื้นที่เปิด แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบจากการระเหย-การคายน้ำถือว่ามีความเล็กน้อย (Butler and Davies, 2011:108) สำหรับการซึม (Infiltration) อัตราการสูญเสียจะมีค่าสูงที่สุดในตอนเริ่มต้น จากนั้นค่าการสูญเสียมีการลดลงเป็นเอกซ์โพเนนเชียลและมีค่าคงที่ในตอนสุดท้าย เมื่อดินชั้นบนอิ่มตัว (Butler and Davies, 2011:109) สมการการคำนวณค่าการซึมสามารถอ้างอิงจาก Horton's equation ดังนี้

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-k_2 t}$$

เมื่อ f_t = อัตราการซึม ที่เวลา t (in mm/h)

f_c = อัตราการซึมสุดท้าย (in mm/h)

f_0 = อัตราการซึมเริ่มต้น (in mm/h)

k_2 = ค่าคงตัวการลดลง (in h^{-1})



2) เทคนิคการจัดเส้นทาง

เทคนิคในการจัดเส้นทางน้ำผิวดินมี 2 วิธีที่แพร่หลาย คือ กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) และ วิธี kinematic wave

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนที่เหลือกับปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้น

วิธี kinematic wave อาศัยสมการของ Manning ดังนี้

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

$$Q = AV$$

เมื่อ v = ความเร็วเฉลี่ย ที่เวลา t (in m/s)

Q = ปริมาณของการไหล (in m^3/s)

A = พื้นที่ตัดขวาง (in m^2)

R = รัศมีชลศาสตร์ : อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของน้ำที่ไหล
ในทางน้ำต่อความยาวของเส้นขอบเปียกค่าคงตัวการลดลง(in m)

S = ความลาดชันของท้องคลอง

N = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องน้ำ ซึ่งสามารถดูได้จาก

ตารางที่ 2.3-1

ตารางที่ 2.3-1ค่าแฟคเตอร์ของวัสดุที่ใช้

ลักษณะท้องน้ำ	ช่วงของค่า n
Glass	0.009-0.013
Cement	0.010-0.015
Concrete	0.010-0.020
Brickwork	0.011-0.018



2.3.1.3. แบบจำลองชลศาสตร์ แบบ 1D

เงื่อนไขพื้นฐานของระบบระบายน้ำ คือ การไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหมายความว่า ปริมาณการไหลของของเหลวที่ไหลจากท่อจุดที่หนึ่ง มีค่าเท่ากับกับปริมาณน้ำที่ระบายออกในจุดที่ 2 มีการตั้งสมมติฐาน 2 ข้อ คือ

- 1) ความหนาแน่น : กำหนดให้ปริมาณน้ำเข้าเท่ากับปริมาณน้ำออก
- 2) อัตราการไหล: กำหนดให้อัตราการไหลตลอดเส้นท่อมามีค่าเท่ากัน ซึ่งอัตราเร็วสูงสุดสามารถหาได้จากกึ่งกลางเส้นท่อ อัตราการไหล (in m^3/s หรือ V/s) $Q_1 = Q_2$

การไหลในระบบระบายน้ำเสียนั้นไม่คงที่ อัตราการไหลนั้นมีแนวโน้มที่ไม่สม่ำเสมอขึ้นกับความเสียดทานและความแตกต่างของ head loss ทฤษฎีทั่วไปที่มักใช้ในการคำนวณอัตราการไหลที่ไม่คงที่ คือ สมการของ Saint-Venant อย่างไรก็ตาม การใช้สมการนี้จะต้องมีการประยุกต์ใช้ตามเงื่อนไขดังนี้

- เส้นท่อมามีแรงดันอยู่ภายใน
- ลาดท้องคลองของระบบระบายน้ำเสียนั้นมีค่าน้อยมาก ความลึกของน้ำเมื่อวัดในแนวตั้งมีแนวโน้มเหมือนลาดท้อง
- อัตราการไหลนั้นมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ
- ร่องน้ำ/คลอง เป็นทรงปริซึม
- ค่าการสูญเสียคำนวณจาก สมการอัตราการไหลที่คงที่
- อัตราการไหลในด้านข้างถือว่าเล็กน้อยมาก
- ค่าคงตัวความลาดเอียงต้องเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t}$$

เมื่อ	y	=	ความลึกของการไหล (in m)
	v	=	ความเร็ว (in m/s)
	x	=	ระยะทาง (in m)
	t	=	เวลา (in s)
	S_0	=	ลาดท้องคลอง
	S_f	=	ค่าคงตัวความลาดเอียง



ทั้งนี้สมการของ Saint-Venant ที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจากอัตราการไหลประกอบไปด้วยสมการโมเมนตัมและสมการต่อเนื่อง (Continuity equation) ดังนี้

สมการโมเมนตัม

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} - gA (S_0 - S_f) = 0$$

Local	Convective	Pressure	Gravity	Friction
acceleration	acceleration	force	force	force
term	term	term	term	term

สมการความต่อเนื่อง

$$B \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

เมื่อ	Q	=	ปริมาณการระบายน้ำทิ้ง/อัตราการไหล (in m ³ /s)
	A	=	พื้นที่ตัดขวางของเส้นท่อ (in m ²)
	B	=	ความกว้างของพื้นที่ผิวน้ำ (in m)



2.3.2. Drainage Handbook Culvert design ประเทศสหรัฐอเมริกา

การศึกษาการออกแบบท่อลอดด้วยวิธีชลศาสตร์ จากเอกสาร Drainage Handbook Culvert Design ซึ่งจัดทำโดย State of Florida Department of Transport พบว่า ท่อลอดจะมีการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ภายใต้การดำเนินการ เช่น น้ำเข้า น้ำออก โดยแนวทางในการคำนวณทางชลศาสตร์ของท่อลอดมีดังนี้

1) ระดับน้ำต้นน้ำที่ยอมรับได้ (Allowable headwater)

ระดับน้ำต้นน้ำที่ยอมรับได้นั้นคำนวณจากการประเมินการใช้ที่ดินที่ต้นน้ำของท่อลอดหรือระดับถนนที่มีอยู่โดยทั่วไปแล้ว ข้อจำกัดของระดับน้ำที่ยอมรับได้ต่ำสุดควรกำหนดจากการคำนวณทางชลศาสตร์

2) การคำนวณอัตราการไหลประเภท Inlet control

การคำนวณการไหลประเภท Inlet Control สามารถใช้โนโมกราฟของการควบคุมน้ำเข้า ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3-4 ที่จัดทำไว้โดย FHWA HDS-5 ซึ่งเป็นถูกพัฒนาเพื่อแก้สมการการคำนวณระดับน้ำสำหรับวัสดุต่างๆ ของท่อลอด ขนาดตัดขวาง ส่วนระดับความสูงน้ำที่จุดน้ำเข้า (headwater elevation) จะถูกคำนวณโดยระดับน้ำที่ทางเข้าบวกด้วยความลึกของต้นน้ำ

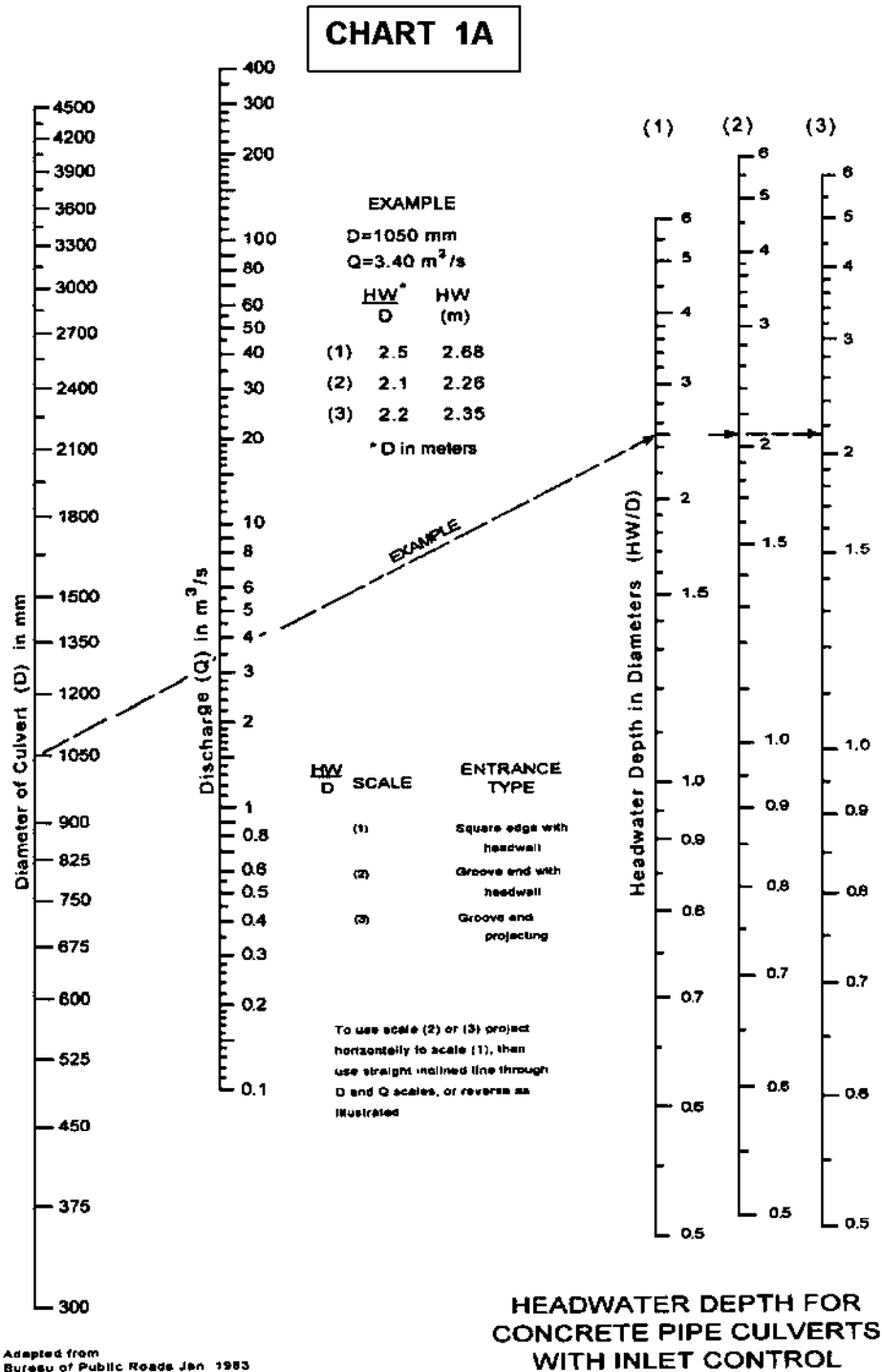
3) การคำนวณอัตราการไหลประเภท Outlet control

การคำนวณการไหลประเภท Outlet Control สามารถใช้โนโมกราฟของการควบคุมน้ำออก ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3-5 จัดทำไว้โดย FHWA HDS-5 ได้เช่นกัน ซึ่งจะใช้ในการแก้สมการ headloss สำหรับวัสดุต่างๆ ของท่อลอด ขนาดตัดขวาง

4) การกำหนดระดับด้านท้ายน้ำ (tailwater)

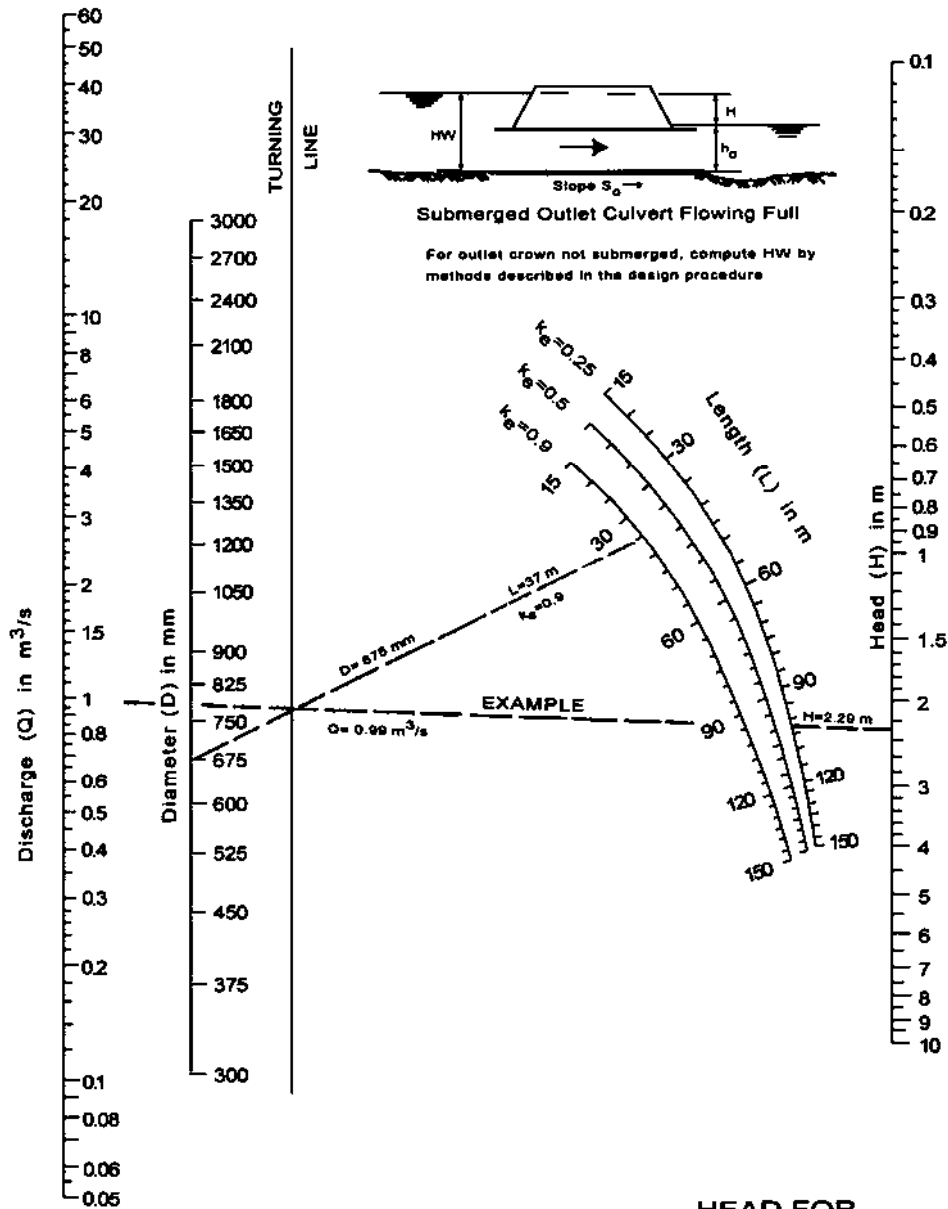
ระดับด้านท้ายน้ำ คือ ความลึกของน้ำวัดจากระดับต่ำสุดของท่อลอดที่จุดปล่อยน้ำสู่บริเวณน้ำผิวดินที่ปลายน้ำ ซึ่งถูกเรียกว่า ระดับท้ายน้ำ โดยการวางท่อลอดด้วยทางวิธีชลศาสตร์ที่ จุดท้ายน้ำควรคำนวณจากความลึกท้ายน้ำสำหรับปริมาณน้ำที่ระบายและความถี่ท้ายน้ำซึ่งมีแนวทางในการคำนวณดังนี้

- ถ้าจุดปล่อยน้ำของท่อลอดจากต้นน้ำถูกติดตั้งใกล้กับจุดน้ำเข้าของท่อลอดที่ปลายน้ำ ระดับน้ำของท่อลอดที่ปลายน้ำ อาจจะกำหนดให้เป็นความลึกของท้ายน้ำสำหรับท่อลอดที่ต้นน้ำ
- สำหรับท่อลอดที่มีการระบายน้ำสู่คลองเปิด ระดับท้ายน้ำอาจเท่ากับความลึกปกติของกระแสน้ำในคลอง ความลึกปกติอาจคำนวณโดยใช้วิธี ลองผิด ลองถูกใน Manning equation ข้อมูลที่ต้องทราบคือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของร่องน้ำ ความลาดชัน และ
- ถ้าท่อลอดระบายน้ำสู่ทะเลสาบ บ่อน้ำ และแหล่งน้ำอื่นๆ ระดับน้ำสูงที่คาดการณ์ไว้ของแหล่งน้ำ อาจสร้างท่อลอดท้ายน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการออกแบบพื้นที่รับน้ำมักจะใช้ค่าเฉลี่ยรายปี
- ถ้ามีการเกิดน้ำขึ้น น้ำลงขึ้นที่จุดปล่อยน้ำนั้น ความสูงระดับน้ำเฉลี่ยปกติจะเป็นเงื่อนไขของท้ายน้ำ



รูปที่ 2.3-4 ตัวอย่างโมโนกราฟของการไหลประเภท Inlet Control

CHART 6A



**HEAD FOR
 STANDARD
 C.M. PIPE CULVERTS
 FLOWING FULL
 $n=0.024$**

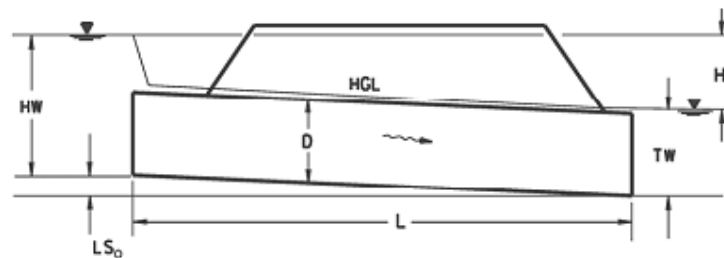
Adapted from
 Bureau of Public Roads Jan. 1963

รูปที่ 2.3-5 ตัวอย่างโมโนกราฟของการไหลประเภท Outlet Control

5) การออกแบบทำนน้ำ

การออกแบบทำนน้ำอาจจะเป็นความสัมพันธ์ของปลายน้ำหรือจุดปล่อยน้ำ ซึ่งเงื่อนไขของการออกแบบทำนน้ำ มีอยู่ 2 เงื่อนไข ดังนี้

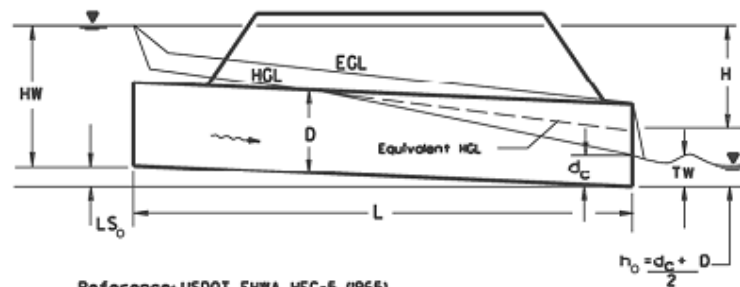
- สำหรับจุดปล่อยน้ำที่จม (submerged outlet) ค่าทำนน้ำจะมีค่ามากกว่าค่า h_0 ดังนั้น ค่าทำนน้ำจะกลายเป็นค่าการออกแบบ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3-6



Reference: USDOT, FHWA, HEC-5 (1965)

รูปที่ 2.3-6 ลักษณะทำนน้ำสำหรับจุดปล่อยน้ำที่จม

- สำหรับจุดปล่อยน้ำที่ไม่จม (unsubmerged outlet) ค่าทำนน้ำจะมีค่าน้อยกว่าค่า h_0 ดังนั้น ค่า h_0 จะเป็นค่าการออกแบบทำนน้ำ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3-7



Reference: USDOT, FHWA, HEC-5 (1965)

รูปที่ 2.3-7 ลักษณะทำนน้ำสำหรับจุดปล่อยน้ำที่ไม่จม



2.3.3. Manual of Road Drainage : Culvert Design ประเทศออสเตรเลีย

เอกสาร Manual of Road Drainage : Culvert Design ซึ่งจัดทำโดย Department of Transport and Main Roads Queensland Government ประเทศออสเตรเลีย ได้อธิบายไว้ว่า ท่อลอด (culvert) เป็นโครงสร้างทางชลศาสตร์เพื่อส่งน้ำข้ามถนน การออกแบบท่อลอดนั้น ต้องอาศัยหลักการทางชลศาสตร์และประสิทธิภาพในระดับที่ต้องการ (สำหรับป้องกันน้ำท่วมได้) ยิ่งไปกว่านั้น การคำนึงถึงด้านสิ่งแวดล้อมและอื่นๆย่อมมีการพิจารณาด้วย

การออกแบบของท่อลอด ต้องเริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ที่ทำการระบายน้ำ รวมถึงรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวกับพื้นที่ ทั้งรายงานสิ่งแวดล้อมและธรณีเทคนิค ซึ่งขั้นตอนต่างๆ มีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

- 1) เก็บข้อมูลพื้นที่ - มีการทบทวน ตรวจสอบข้อมูลภูมิประเทศ แผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ที่ต้องการ เช่น ข้อมูลพื้นที่รับน้ำ ทางน้ำ ข้อมูลต้นน้ำ และปลายน้ำ ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม ข้อมูลดินในบริเวณนั้น เป็นต้น และสิ่งที่สำคัญ ที่ต้องทบทวน คือ ข้อมูลของน้ำท่วมที่มีการบันทึกไว้ ศึกษาข้อมูลอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียงในพื้นที่ เช่น คลอง ทำนบ พื้นที่รับน้ำ ข้อมูลเหล่านี้ใช้เพื่อให้ผู้ออกแบบเริ่มต้นในการคำนวณขนาดและการจัดวางท่อลอด
- 2) การคำนวณถนน/คลองส่งน้ำ - การวางแผนทางถนนมีการวางข้ามเส้นทางน้ำ/คลองส่งน้ำ ดังนั้นผู้ออกแบบควรคำนึงถึง ความสูงของช่วงถนนในช่วงข้ามเส้นทางน้ำ การจัดวางเส้นทางถนนในช่วงแนวระบาย ความสูงชันของเขื่อนริมน้ำหรือ เนินเขา ความหนาของถนนที่จำทำการก่อสร้าง ลักษณะของคลองส่งน้ำ (ความกว้างและความลาดเอียงของคลองส่งน้ำ) พารามิเตอร์เหล่านี้ต้องการเพื่อมาใช้ในการคำนวณหาความสูงสูงสุด ความกว้างและความยาวที่น้อยที่สุดของท่อลอด นอกจากนี้พารามิเตอร์เหล่านี้ยังช่วยให้การกำหนดความสูงแรงดันเหนือเขื่อน (Head water) ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาท่อลอดที่ต้นน้ำ
- 3) การคำนวณชนิดท่อลอดและตำแหน่งที่วาง - การเลือกวัสดุของท่อลอดให้เหมาะสมกับพื้นที่และ เสนอแนวทางการจัดวาง จะต้องมีการคำนวณ ขนาดของท่อลอดเพื่อให้เหมาะสม และทำการตรวจสอบข้อกำหนดต่างให้ครอบคลุมกับขนาดของท่อลอดที่ทำการเลือก กำหนดระดับความสูงของระดับน้ำทางเข้า-ทางออก ตรวจสอบการคำนวณต่างๆว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม และเอกสารเกี่ยวกับการออกแบบท่อลอดทั้งในแง่ความเป็นไปได้และข้อจำกัดที่จะเกิดขึ้น
- 4) การคำนวณระดับน้ำท้ายน้ำของจุดออกท่อลอด
- 5) ออกแบบภายใต้หลักการชลศาสตร์ - กำหนดระดับความสูงของน้ำที่สามารถยอมรับได้ รวมถึง ระยะจากระดับน้ำสูงสุดถึงระดับหลังคันคลองหรือสันเขื่อน (freeboard) เมื่อทำการออกแบบท่อลอดเสร็จสิ้น จะมีการคำนวณค่าทางชลศาสตร์ต่างๆ และมีการทดลองเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตามแบบโครงสร้างที่ได้วางไว้เพื่อเลือกการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด



- 6) การทบทวนแบบที่ทำการเลือก – ทำการตรวจสอบการออกแบบทางชลศาสตร์ว่าสามารถป้องกันน้ำท่วมได้อย่างที่ต้องการหรือไม่ ตรวจสอบระดับความสูงน้ำ (headwater) ที่จะเกิดขึ้นกับความสูงน้ำที่จะยอมรับได้ ตรวจสอบความเร็วจุดปล่อยน้ำ ตรวจสอบขอบเขตของพื้นที่รับน้ำจากการไหลบ่า และสำรวจผลกระทบที่จะเกิดขึ้น
- 7) ตรวจสอบเครือข่ายใกล้เคียง อาทิเช่น น้ำผิวดินจากแหล่งอื่นสามารถเข้าสู่จุดรับน้ำหรือจุดปล่อยน้ำของท่อลอดได้หรือไม่ น้ำใต้ดินสามารถเข้าสู่จุดรับน้ำหรือจุดปล่อยน้ำของท่อลอดได้หรือไม่
- 8) การบรรเทาผลกระทบ – คำนวณการป้องกันมลพิษทั้งจุดเข้าและจุดออก

ในเอกสารฉบับนี้ได้แสดงแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเชิงชลศาสตร์ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบท่อลอด ดังแสดงในรูปที่ 2.3-8



2.4. สรุปผลการทบทวนวรรณกรรมและแนวทางการนำไปใช้

ในการศึกษาทบทวนทฤษฎีและกรอบแนวคิดในการออกแบบอาคารระบายน้ำ ที่ปรึกษาได้ทำการทบทวนตั้งแต่ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานสำคัญที่วิศวกรจำเป็นต้องทราบและทำความเข้าใจก่อนที่จะสามารถออกแบบอาคารระบายน้ำต่างๆ ได้ ซึ่งทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยาที่เกี่ยวข้องและได้มีการรวบรวมไว้ใน การศึกษานี้ประกอบด้วย ทฤษฎีของลุ่มน้ำ น้ำฝน น้ำท่า และการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด จากนั้นได้มีการกล่าวถึงทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วย การไหลในทางน้ำเปิดและการไหลผ่านท่อลอด ซึ่งเนื้อหาในส่วนนี้จะทำให้ที่ปรึกษา ทราบถึงวิธีการออกแบบท่อลอดผ่านถนน ตามอัตราการไหลสูงสุดที่ประเมินไว้

นอกจากการทบทวนทฤษฎีด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบท่อลอดหรืออาคารระบายน้ำผ่านถนนแล้ว ที่ปรึกษายังได้ทำการทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ รวมถึงการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแบบจำลองต่างๆ ไปใช้ในการออกแบบและแก้ไขปัญหา น้ำท่วม ซึ่งผลจากการทบทวนในส่วนนี้ จะทำให้ที่ปรึกษาทราบถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษา พร้อมทั้งแนวทางการศึกษาตลอดจนผลลัพธ์ที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถประมวลผลและนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหา น้ำท่วมได้

ในส่วนสุดท้ายของการศึกษาทบทวนวรรณกรรมในต่างประเทศ ซึ่งการศึกษาในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อต้องการทราบถึงวิธีการออกแบบท่อลอดหรืออาคารระบายน้ำผ่านถนนในต่างประเทศ เพื่อที่จะได้นำวิธีการดังกล่าว มาทดสอบเปรียบเทียบใช้กับการวิธีการออกแบบของกรมทางหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งหากพบว่าวิธีการใหม่ที่ได้จากการศึกษาทบทวน สามารถออกแบบท่อลอดหรืออาคารระบายน้ำได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการเดิม (อาจใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการทดสอบเปรียบเทียบ) ก็จะได้มีการเสนอแนะเพื่อปรับปรุงวิธีการคำนวณออกแบบท่อลอดหรืออาคารระบายน้ำผ่านถนนให้กับกรมทางหลวงต่อไป



บทที่ 3

วิธีการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

3. วิธีการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

การออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง ที่จะทำการทบทวนในการครั้งนี้ จะเป็นการทบทวนแนวทางการประเมินอัตราการไหลในการออกแบบอาคารระบายน้ำโดยอ้างอิงตามเนื้อหาที่ระบุไว้ในเอกสาร “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง” ซึ่งประกอบด้วยกัน 4 วิธี คือ 1) วิธี Rational Method 2) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) 3) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และ 4) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) ซึ่งรายละเอียดของวิธีการทั้งหมด รวมถึงบทสรุปถึงข้อจำกัดของการประเมินอัตราการไหลสูงสุดเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำในแต่ละวิธี แสดงได้ดังนี้



3.1. วิธี Rational Method

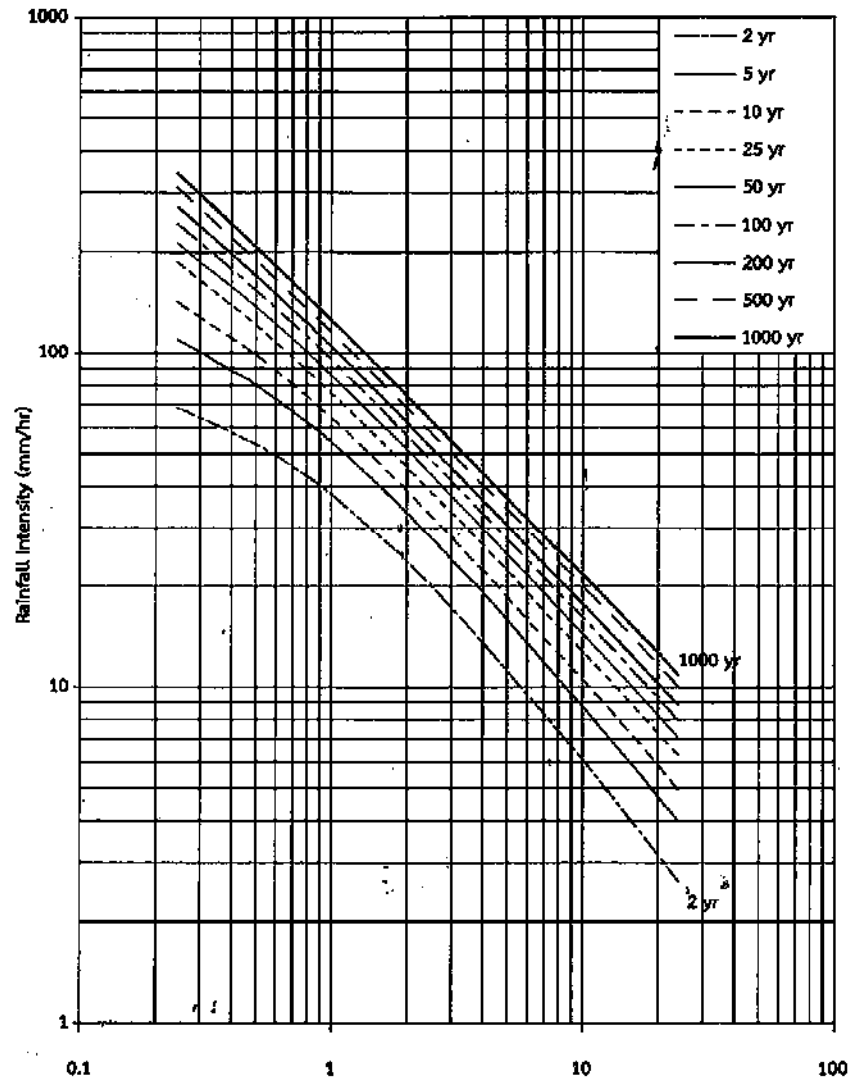
วิธีการนี้เป็นการหาอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ โดยคิดจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกินที่ตกลงในพื้นที่รับน้ำ (ปริมาณน้ำฝนที่เหลือจากการระเหย การซึมลงดิน การคายระเหย การอุ้มและเก็บกัก อยู่ในแอ่งน้ำต่างๆ) โดยมีสมมติฐานว่าการตกของฝนมีความเข้มข้นสม่ำเสมอกระจายทั่วพื้นที่รับน้ำฝน ตลอดช่วงเวลาของฝนตกที่พิจารณา ซึ่งด้วยสมมติฐานดังกล่าว เป็นเหตุให้สูตรนี้เหมาะสมกับการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ กรณีที่พื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่มากนัก เพราะยิ่งพื้นที่รับน้ำมีขนาดใหญ่ การกระจายของฝนในพื้นที่รับน้ำก็ยิ่งแตกต่างกัน ความถูกต้องของการคำนวณก็จะยิ่งน้อยลงวิธี Rational Formula เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศสำหรับหน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทยกำหนดให้ใช้สูตรนี้ ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำฝนไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดสามารถหาได้ ตามสมการต่อไปนี้

$$Q = 0.278 CIA$$

เมื่อ	Q	=	อัตราการไหลสูงสุดของน้ำ ณ จุดที่พิจารณามีหน่วยเป็น ลบ.ม/วินาที
	C	=	สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Coefficient of Runoff) ขึ้นกับลักษณะของพื้นที่รับน้ำฝน
	I	=	ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร /ชั่วโมง
	A	=	พื้นที่รับน้ำฝนมีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร สามารถหาได้จากการแบ่งพื้นที่รับน้ำฝน ในแผนที่เส้นชั้นความสูง หรือ แผนที่แสดงโครงสร้างทางน้ำ

สำหรับค่าความเข้มของฝนได้จากกราฟความเข้มของฝน ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของฝน (Intensity) กับช่วงเวลาที่ฝนตก (Duration) โดยสร้างขึ้นจากการวิเคราะห์ความถี่การตกของฝน (Frequency Analysis) ที่ระดับความเข้มและช่วงเวลาต่างๆ จึงมักเรียกกราฟนี้ว่า IDF Curve ซึ่งในการจัดทำกราฟความเข้มของฝนดังกล่าว จำเป็นจะต้องมีข้อมูลน้ำฝนที่มีการเก็บอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานหลายปี โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับเรื่องน้ำโดยตรง ได้แก่ กรมชลประทาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิต และกรมพัฒนาพลังงาน ได้จัดทำ IDF Curve ของสถานีน้ำฝนต่างๆ ซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ทั่วประเทศ โดยตัวอย่างของ IDF Curve ดังแสดงในรูปที่ 3.1-1 ซึ่งในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ วิศวกรต้องเลือกใช้กราฟน้ำฝนของสถานีวัดที่อยู่ใกล้โครงการมากที่สุด



รูปที่ 3.1-1 ตัวอย่างของ IDF Curve

สำหรับการหาค่าความเข้มของฝน (I) จากกราฟจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรต่อไปนี้คือ

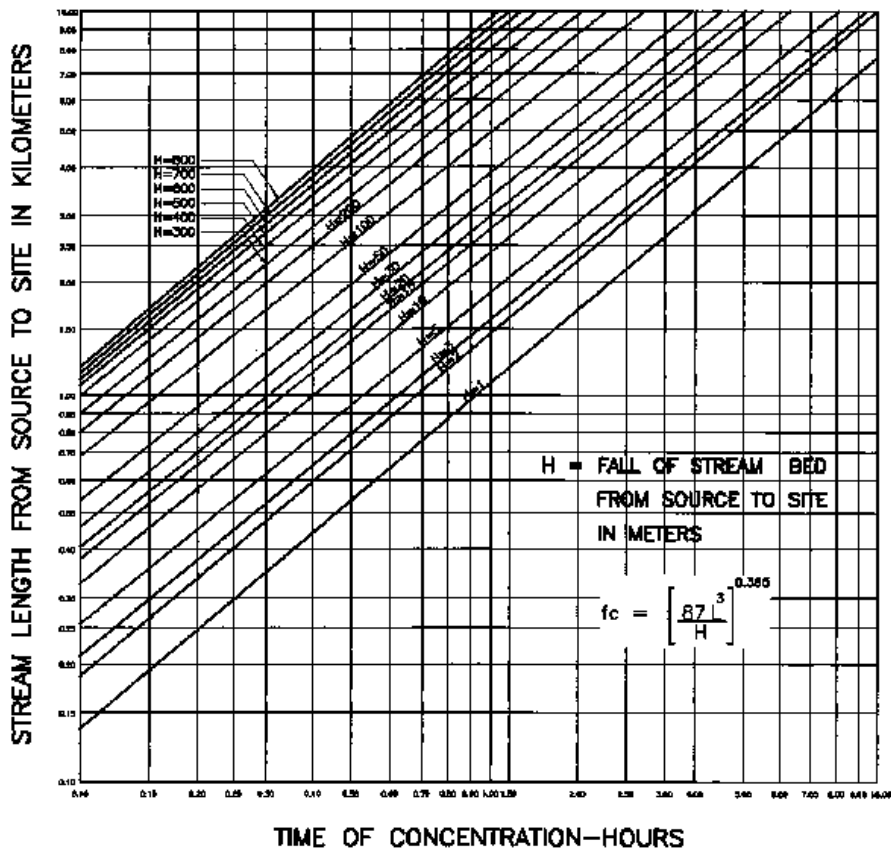
- 1) รอบปีการเกิดซ้ำของน้ำฝน (Return period) ที่ใช้ในการออกแบบซึ่งกำหนดตามหลักเกณฑ์ที่กล่าวแล้วข้างต้น
- 2) ช่วงเวลาการตกของฝน (Duration) ที่ใช้การคำนวณกำหนดให้เท่ากับช่วงเวลาที่มีน้ำฝนส่วนเกินที่ตกในพื้นที่รับน้ำไหลมารวมพร้อมกัน ณ จุดที่ตั้งของอาคารระบายน้ำที่พิจารณาออกแบบ (Time of Concentration) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้



$$T_c = \left[\frac{0.87L^3}{H} \right]^{0.385}$$

- เมื่อ T_c = Time of Concentration มีหน่วยเป็นชั่วโมง
 L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่ จากจุดไกลที่สุดบนสันปันน้ำถึงตำแหน่งที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำมีหน่วยเป็นกิโลเมตร
 H = ความแตกต่างระหว่างระดับพื้นดินที่จุดไกลสุดบนสันปันน้ำกับระดับที่ตำแหน่งอาคารระบายน้ำที่พิจารณามีหน่วยเป็นเมตร

ทั้งนี้ค่า T_c ตามสมการดังกล่าวสามารถอ่านค่าได้จากกราฟในรูปที่ 3.1-2 หากทราบความยาวลำน้ำจนถึงตำแหน่งที่พิจารณาและความแตกต่างระหว่างระดับพื้นดินที่จุดไกลสุดบนสันปันน้ำกับระดับที่ตำแหน่งอาคารระบายน้ำ



รูปที่ 3.1-2 กราฟแสดงการประเมินค่า TC



นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่า ค่า T_c ได้จากสมการอื่นดังตารางที่ 3.1-1 เนื่องจากความลาดชันของพื้นที่รับน้ำฝนตามแนวทางการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงๆ โดยมากมักมีความลาดชันสูงบริเวณต้นน้ำและมีความลาดชันน้อยลงเมื่อระยะทางน้ำไหลที่มีความลาดชันใกล้เคียงกันแล้วนำค่า T_c ของแต่ละช่วงมารวมกัน

ตารางที่ 3.1-1 สมการที่ใช้คำนวณเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า (Time of concentration, t_c)

Method and date	Formula for t_c (min)
Kirpich (1940)	$T_c = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385}$ L = Length of channel/ditch from headwater to outlet, ft S = Average watershed slope, ft/ft
USBR Design of Small Dams (1973)	$T_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$ L = Length of longest watercourse, mi H = Elevation difference between divide and outlet. ft
Izzard (1946)	$T_c = \frac{41.025(0.0007i + \alpha L)^{0.33}}{S^{0.33} i^{0.667}}$ i = Rainfall intensity, in/hr c = Retardance coefficient L = Length of flow path, ft S = Slope of flow path, ft/ft
Federal Aviation Administration (1970)	$T_c = 1.8(1.1 - c)L^{0.50} S^{0.333}$ C = Rational method runoff coefficient L = Length of overland flow, ft S = Surface slope,%
ASCE Kinematic Wave Morgali and Linsley (1965)	$T_c = \frac{0.94L^{0.6} n^{0.6}}{(i^{0.4} S^{0.3})}$ L = Length of overland flow, ft n = Manning roughness coefficient i = Rainfall intensity, in/hr S = average overland slope, ft/ft
SCS Lag Equation (1972)	$t_c = \frac{1.67L^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.6}}{1900^{0.5}}$ L = Hydraulic length of watershed (longest flow path), ft CN = SCS runoff curve number S = Average watershed slope,%
SCS Average Velocity (1975)	$t_c = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V}$ L = Length of flow path V = Average velocity in feet per second

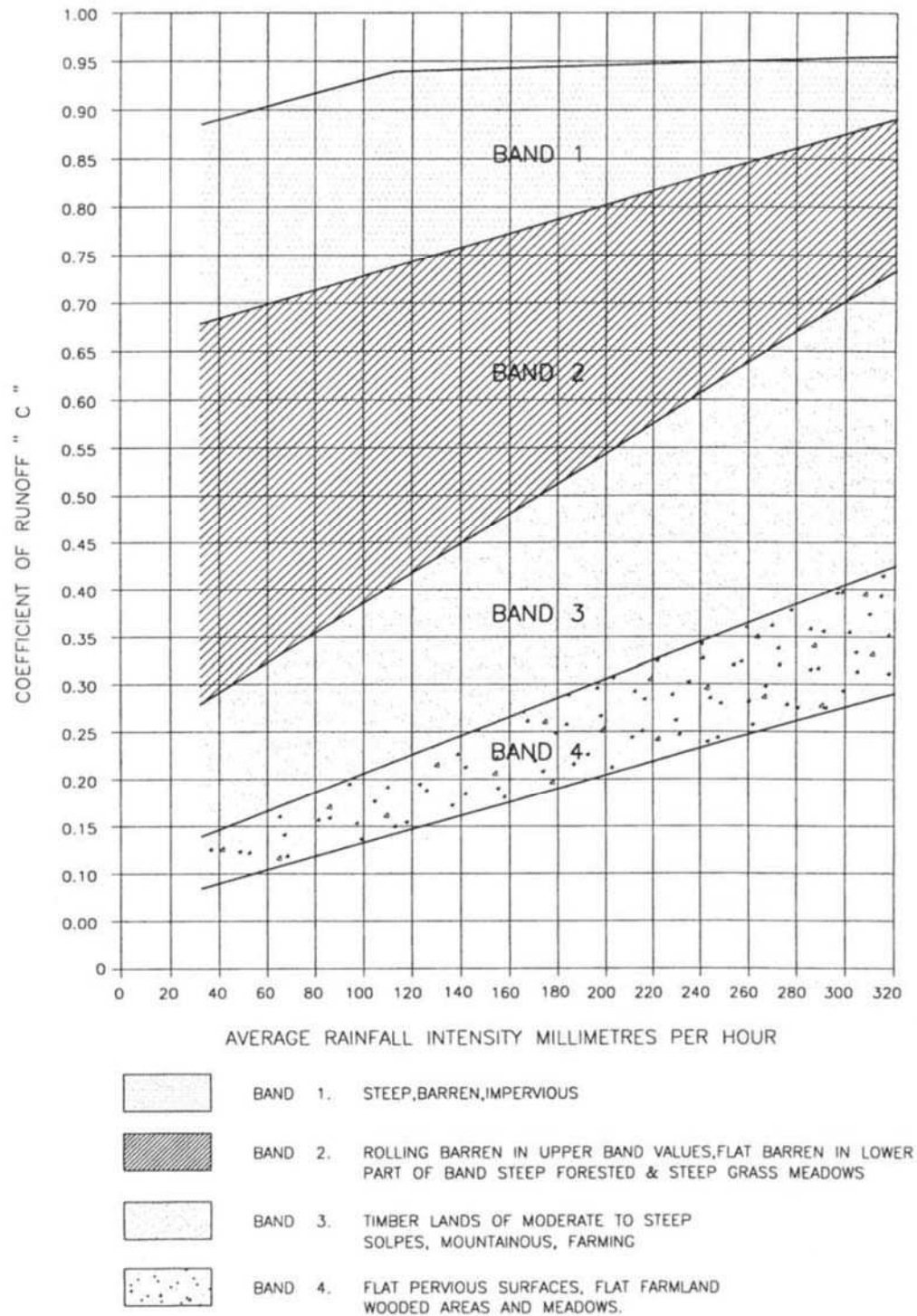


การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี Rational Formula เป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย แต่ความถูกต้องแม่นยำของการคำนวณขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการเลือกใช้ ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่าหรือค่า C ซึ่งเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำฝนที่รวมเป็นน้ำท่าไหลออกจากพื้นที่รับน้ำที่พิจารณาโดยค่า C จะแปรเปลี่ยนตามเงื่อนไขของพื้นที่รับน้ำซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ ความลาดเอียงของพื้นที่รับน้ำชนิดและความลึกของชั้นดิน ชนิดและความหนาแน่นของพืชปกคลุมดินการใช้พื้นที่ (Land Used) การเก็บกักภายในพื้นที่รับน้ำ (surface storage) รวมทั้งความชื้นและความต่อเนื่องของฝน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องค่อนข้างยากในการเลือกใช้ค่า C ที่เหมาะสม มีหลายหน่วยงานได้เสนอแนวทางในการเลือกใช้ค่า C ทั้งในรูปแบบของกราฟและตาราง ได้แก่ กราฟสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff Coefficient) ตามรูปที่ 3.1-3 ซึ่งกรมทางหลวงได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบมานาน โดยกราฟดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่ากับความชื้นของฝน สำหรับพื้นที่รับน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 แบบ ซึ่งพื้นที่รับน้ำแต่ละแบบจะมีช่วงของค่า C ที่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมากพอสมควร ดังนั้นกราฟดังกล่าวจึงควรใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับเลือกช่วงของค่า C ควรใช้ข้อมูลอื่นประกอบในการเลือกค่า C ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ชนิดของดิน ชนิดและความหนาแน่นของพืชคลุมดิน ปริมาณการเก็บกักตามแอ่งน้ำธรรมชาติและที่สร้างขึ้น เป็นต้น

นอกจากนั้นแล้ว ยังมีการเสนอแนวทางการประเมินค่า C โดย Chow et al (1988) ดังตารางที่ 3.1-2 ซึ่งมีการแบ่งคุณลักษณะของพื้นผิวพื้นที่รับน้ำฝนที่ละเอียดมากขึ้น โดยค่า C จะขึ้นอยู่กับรอบการเกิดซ้ำของฝนที่เลือกใช้ด้วย อย่างไรก็ตามก็น่าจะนำข้อมูลชนิดของดิน และปริมาณเก็บกักมาพิจารณาปรับค่าที่ได้จากตารางนี้ด้วย

หน่วยงาน Soil Conservation Service (scs) สหรัฐอเมริกาได้ศึกษาค่า C โดยแบ่งดินชนิดต่างๆเป็น 4 กลุ่ม ตามตารางที่ 3.1.-3 และได้เสนอค่า C สำหรับดินกลุ่ม B ซึ่งเป็นพื้นที่การเกษตร ดังตารางที่ 3.1-4 ส่วนค่า C สำหรับดินกลุ่มอื่น คือกลุ่ม A, กลุ่ม C และกลุ่ม D หาได้โดยการคูณด้วยแฟคเตอร์ ตามตารางที่ 3.1-5

การเลือกใช้ค่า C จากตารางหรือกราฟได้นั้นวิศวกรผู้ออกแบบควรพิจารณาถึงข้อมูลเงื่อนไข ลักษณะของพื้นที่รับน้ำที่ว่ามีคุณสมบัติสอดคล้องกับการใช้ตารางหรือกราฟใด



รูปที่ 3.1-3 กราฟการประเมินสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff Coefficient)



ตารางที่ 3.1-2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลออกที่ใช้ในสูตร Rational Formula

คุณลักษณะของพื้นที่	รอบปีการเกิดซ้ำ - ปี						
	2	5	10	25	50	100	500
พื้นที่พัฒนา							
ลาดยาง	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
คอนกรีต/หลังคา	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
พื้นที่หญ้า (สนาม, สวนสาธารณะ เหล่านี้เป็นต้น)							
สภาพเลว (สนามหญ้าคลุมน้อยกว่า 50% ของพื้นที่)							
1) เรียบ 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
2) เฉลี่ย 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
3) ชื้นเกิน 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
สภาพค่อนข้างดี (หญ้าปกคลุมน้อยกว่า 50% - 75% ของพื้นที่)							
1) เรียบ 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
2) เฉลี่ย 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
3) ชื้นเกิน 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
สภาพดี (หญ้าปกคลุมน้อยกว่า 75% ของพื้นที่)							
1) เรียบ 0-2%	0.21	0.23	0.35	0.29	0.32	0.36	0.49
2) เฉลี่ย 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
3) ชื้นเกิน 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
พื้นที่ยังไม่พัฒนา							
พื้นที่เพาะปลูก							
1) เรียบ 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
2) เฉลี่ย 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
3) ชื้นเกิน 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
ทุ่งหญ้า / ทุ่งหญ้าปศุสัตว์							
1) เรียบ 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
2) เฉลี่ย 2-7%	0.33	0.39	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
3) ชื้นเกิน 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
ป่าโปร่ง / ป่าละเมาะ							
1) เรียบ 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
2) เฉลี่ย 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
3) ชื้นเกิน 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58



ตารางที่ 3.1-3 แสดงการให้ค่าจำกัดความการแบ่งชนิดของดินตามแนวทางของ SCS Hydrologic Soil Groups

Soil Group	Description	Final Infiltration Rate (mm/h)	Soil Texture
A	Lowest runoff potential. Includes deep sands with very little silt and clay, also deep, rapidly permeable loess.	8-12	Sand, Loamy sand, Sand loam
B	Moderately low runoff potential. Mostly sandy soils less deep than A, and loess deep or less aggregated than A, but the group as a whole has above – average infiltration after thorough wetting	4-8	Silt loam, loam
C	Moderately high runoff potential. Comprises shallow soils and soil containing considerable clay and colloids, though less than those of group D. The group has below – average infiltration after presaturation.	1-4	Sandy clay Loam
D	Highest runoff potential. Includes mostly clays of high swelling percent, but the group also includes some shallow soils with nearly impermeable subhorizons near the surface	0-1	Clay loam, Silty clay Loam Sandy clay, Silty clay clay



ตารางที่ 3.1-4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับดิน Group B

Crop and Hydrologic Condition mm/h	Coefficient C for Rainfall Rates of		
	25 mm/h	100 mm/h	200mm/h
Row crop , poor practice	0.63	0.65	0.66
Row crop , good practice	0.47	0.56	0.63
Small grain , poor practice	0.38	0.38	0.38
Small grain , good practice	0.18	0.21	0.22
Meadow , rotation , good	0.29	0.36	0.39
Pasture , permanent , good	0.02	0.17	0.23
Woodland , mature , good	0.02	0.01	0.15

ตารางที่ 3.1-5 แสดงค่า Conversion Factor สำหรับ for Hydrologic Soil Groups A, C, and D

Crop and Hydrologic Condition	Factors for Converting C for Groups A, C, and D		
	Group A	Group C	Group D
Row crop , poor practice	0.89	1.09	1.12
Row crop , good practice	0.86	10.9	1.14
Small grain , poor practice	0.86	1.11	1.16
Small grain , good practice	0.84	1.11	1.16
Meadow , rotation , good	0.81	1.13	1.18
Pasture , permanent , good	0.64	1.21	1.31
Woodland , mature , good	0.45	1.27	1.4



การหาค่า C ในกรณีที่สภาพพื้นที่ภายในพื้นที่รับน้ำฝน มีความแตกต่างกัน เช่น ความลาดชัน ชนิดของดิน การใช้พื้นที่ และพืชปกคลุม เป็นต้น ควรแบ่งพื้นที่รับน้ำฝนเป็นพื้นที่ย่อย ค่า C เฉลี่ยของพื้นที่รับน้ำทั้งหมดได้จากการเฉลี่ยค่า C ของพื้นที่ย่อยตามน้ำหนักขนาดของพื้นที่ย่อยดังนี้

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{A_{Total}}$$
$$= \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \dots + C_n A_n}{A_{Total}}$$

เมื่อ C_i = สัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับพื้นที่ย่อยใดๆ
 A_i = ขนาดของพื้นที่รับน้ำย่อยใดๆ
 n = จำนวนพื้นที่ย่อย



3.2. วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า คือ กราฟน้ำท่าผิวดินที่เกิดจากฝนสุทธหรือฝนส่วนเกิน 1 หน่วย ซึ่งแผ่กระจายสม่ำเสมอบนพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยอัตราการตกคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งในกรณีของประเทศไทย กรมชลประทานได้ทำการวิเคราะห์ และรวบรวมกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของกลุ่มน้ำต่าง ๆ ตามเอกสาร Hydrology No.1502/08 ฉบับปรับปรุงแก้ไขซึ่งดำเนินการโดยส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ เมื่อปี 2552 โดยเป็นความสัมพันธ์ของช่วงเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (T_p) และความสัมพันธ์ของปริมาณการไหลสูงสุด (Q_p) กับตัวแปรต่างๆ ของกลุ่มน้ำและลำน้ำดังสมการต่อไปนี้

$$T_p = a(LL_c / \sqrt{S})^b$$

$$Q_p/A = C(T_p)^d$$

เมื่อ	T_p	=	เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่า (ชั่วโมง)
	Q_p	=	ปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่าของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/มิลลิเมตร)
	L	=	ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (กิโลเมตร)
	L_c	=	ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มน้ำมากที่สุด (กิโลเมตร)
	S	=	ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่
	A	=	ขนาดของพื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร)
	$a, b, c, d,$	=	ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรซชั่น ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากข้อมูลที่มีอยู่จริงในแต่ละลุ่มน้ำ

ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ ค่าพื้นที่รับน้ำฝน (A) ค่าความยาวลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) ค่าความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (S) หาได้จากการวัดในแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร



สำหรับค่า เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (T_p) และค่าปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Q_p) หาได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงของแต่ละสถานี

จากพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่คำนวณได้จากสมการทั้ง 2 นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ก็สามารถคำนวณกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำฝนของกลุ่มน้ำย่อยได้ ซึ่งกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ของสถานีสำรวจอุทกวิทยา ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2-1

ตารางที่ 3.2-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง T_p และ LL_c/\sqrt{S} และความสัมพันธ์ระหว่าง Q_p/A และ T_p ของสำหรับกลุ่มน้ำต่าง ๆ

ลำดับ	ลุ่มน้ำ	จำนวนสถานี ที่ใช้วิเคราะห์	$T_p = a(LL_c/\sqrt{S})^b$			$Q_p/A = c(T_p)^d$		
			a	b	r^2	c	d	r^2
1	ปิง	11	0.5924	0.3108	0.7246	0.2094	-1.0018	0.8893
2	วัง	5	0.0396	0.5573	0.8717	0.3202	-1.1688	0.9154
3	ยม	5	1.6375	0.2377	0.7448	0.2385	-1.0291	0.8666
4	น่าน	5	4.4121	0.1560	0.8190	1.6160	-1.6074	0.8390
5	โขง	12	0.2837	0.3979	0.6433	0.2175	-1.0008	0.7821
6	ชี	7	0.0092	0.7214	0.9614	0.1625	-0.9550	0.9542
7	มูล	11	0.1909	0.5293	0.7052	0.2434	-0.9887	0.8272
8	ป่าสัก	7	0.0234	0.6820	0.881	0.1095	-0.7042	0.6753
9	ภาคตะวันออก	13	0.7731	0.3433	0.7451	0.1803	-0.9535	0.9022
10	ภาคตะวันตก	11	1.3152	0.2621	0.7117	0.1662	-0.8747	0.5752
11	ภาคใต้	17	1.2636	0.2956	0.5804	0.5379	-1.2642	0.8590



ขั้นตอนการหา อัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า มีดังนี้

- 1) หาข้อมูลตัวแปรที่ต้องใช้ คือ
 - A หน่วยเป็น ตารางกิโลเมตร
 - L หน่วยเป็น กิโลเมตร
 - L_c หน่วยเป็น กิโลเมตร
 - S ความลาดเทของลำน้ำหลัก
 - I ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำ (มม.) จะใช้ฝนสูงสุด (มม./ชม.) ตามรอบ Return period ที่ต้องการคำนวณ
- 2) คำนวณค่า T_p จากสมการ T_p ของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำปิง $T_p = 0.5924 (LL_c \sqrt{S})^{0.3108}$
- 3) คำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดของฝนหนึ่งหน่วย Q_p จากสมการกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มแม่น้ำปิง $Q_p = A \times 0.2094 \times (T_p) - 1.0018$
- 4) หาช่วงเวลาการตกของฝนวิกฤต (Duration, T_r) โดยหาได้จาก 2 สมมติฐาน คือ
 - ช่วงเวลาการตกของฝนวิกฤต เท่ากับช่วงเวลาการไหลรวมของน้ำ (Time of concentration) ซึ่งสามารถหาได้จากสูตรการหาค่า T_c ที่กล่าวถึงแล้วข้างต้น
 - ให้ช่วงเวลาการตกของฝน $T_r = T_p/5.5$ เลือกใช้ค่า T_r ที่น้อยกว่า
- 5) นำค่า T_r ที่ได้ไปหาค่าความเข้มของฝน (I) ในรอบปีที่ใช้ออกแบบ จาก IDF Curve
- 6) หาค่าวิกฤตฝน $I_r = I \times T_r$
- 7) หาค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่าจากปริมาณฝนรวม (ฝนเฉลี่ยรายวัน) เช่น ลุ่มน้ำยม $C_o = 0.1787 RF + 3.8849$ $C_o = \dots\dots\dots\%$
- 8) หาค่าปริมาณน้ำฝนใช้การ = $C_o \times I_r$
- 9) อัตราการไหลสูงสุด = $(C_o \times I_r) \times Q_p$ (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

สำหรับข้อจำกัดในการใช้ Unit Hydrograph ในการประเมินอัตราการไหลสูงสุด คือ

- 1) พื้นที่ลุ่มน้ำ ไม่ควรเกิน 10,000 ตารางกิโลเมตร
- 2) ด้านเหนือน้ำ ต้องไม่มีอ่างเก็บน้ำ หรือฝายขนาดใหญ่



ทั้งนี้ข้อมูลที่ต้องมี (ณ จุดที่ตั้งที่ต้องการหาปริมาณอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำนอง) ได้แก่

- 1) ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) - ตารางกิโลเมตร
- 2) ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดที่พิจารณาถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) - กิโลเมตร
- 3) ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดที่พิจารณาถึงจุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มน้ำมากที่สุด (Lc) กิโลเมตร
- 4) ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (S)
- 5) ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำ - มิลลิเมตร (ช่วงเหตุการณ์ที่ต้องการประเมิน)



3.3. วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis)

การวิเคราะห์ห้อตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทย ที่ใช้ในคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง กรมทางหลวง ได้อ้างอิงมาจากเอกสารทางวิชาการ Hydrology No.1356/02 ซึ่งจัดทำโดยส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยการบริหารน้ำ ซึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ 6 ภาค ตามลักษณะภูมิประเทศ คือภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคใต้ ซึ่งในแต่ละภาคยังแบ่งย่อยตามพื้นที่ลุ่มน้ำหลักอีกหลายลุ่มน้ำ ดังนี้

- 1) ภาคเหนือแบ่งเป็นลุ่มน้ำหลัก 7 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำอิง และลุ่มน้ำสาละวิน
- 2) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งเป็น 3 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำชี และลุ่มน้ำมูล
- 3) ภาคกลาง แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำสะแกกรัง ลุ่มน้ำป่าสัก และลุ่มน้ำท่าจีน
- 4) ภาคตะวันออก แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำปราจีน ลุ่มน้ำโตน ทะเลสาบ (ทะเลสาบเขมร) และลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก
- 5) ภาคตะวันตก แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มแม่น้ำกลอง ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี ลุ่มแม่น้ำปราณบุรี และ ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก
- 6) ภาคใต้ แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก ลุ่มน้ำตาปี และลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

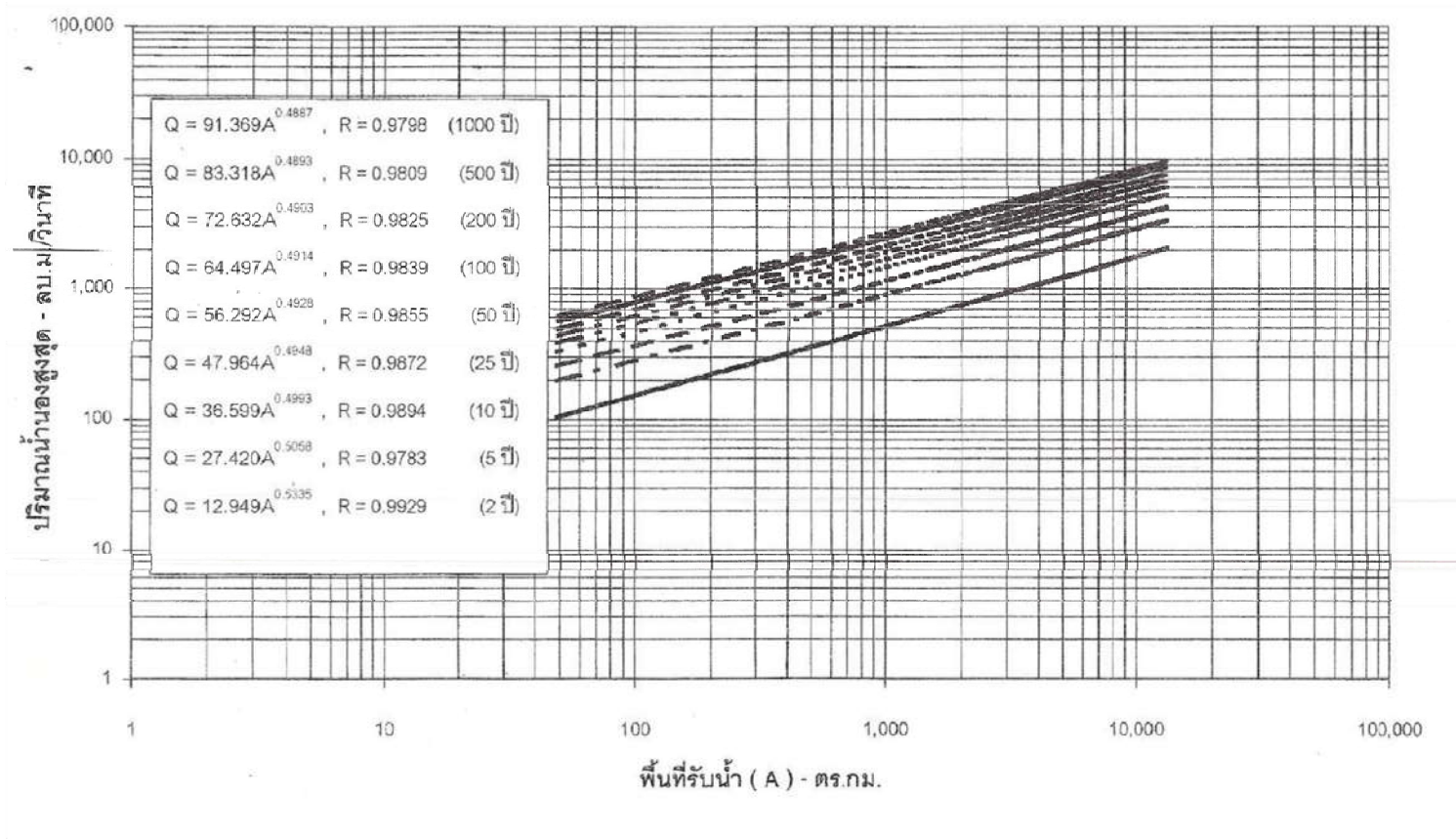
สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดของน้ำในรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (Q_{Tr}) กับพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) นั้น ดำเนินการโดยการวิเคราะห์ห้ตัวแปรความสัมพันธ์แบบถดถอย(Regression) ในรูปสมการต่อไปนี้

$$Q_{Tr} = aA^b$$

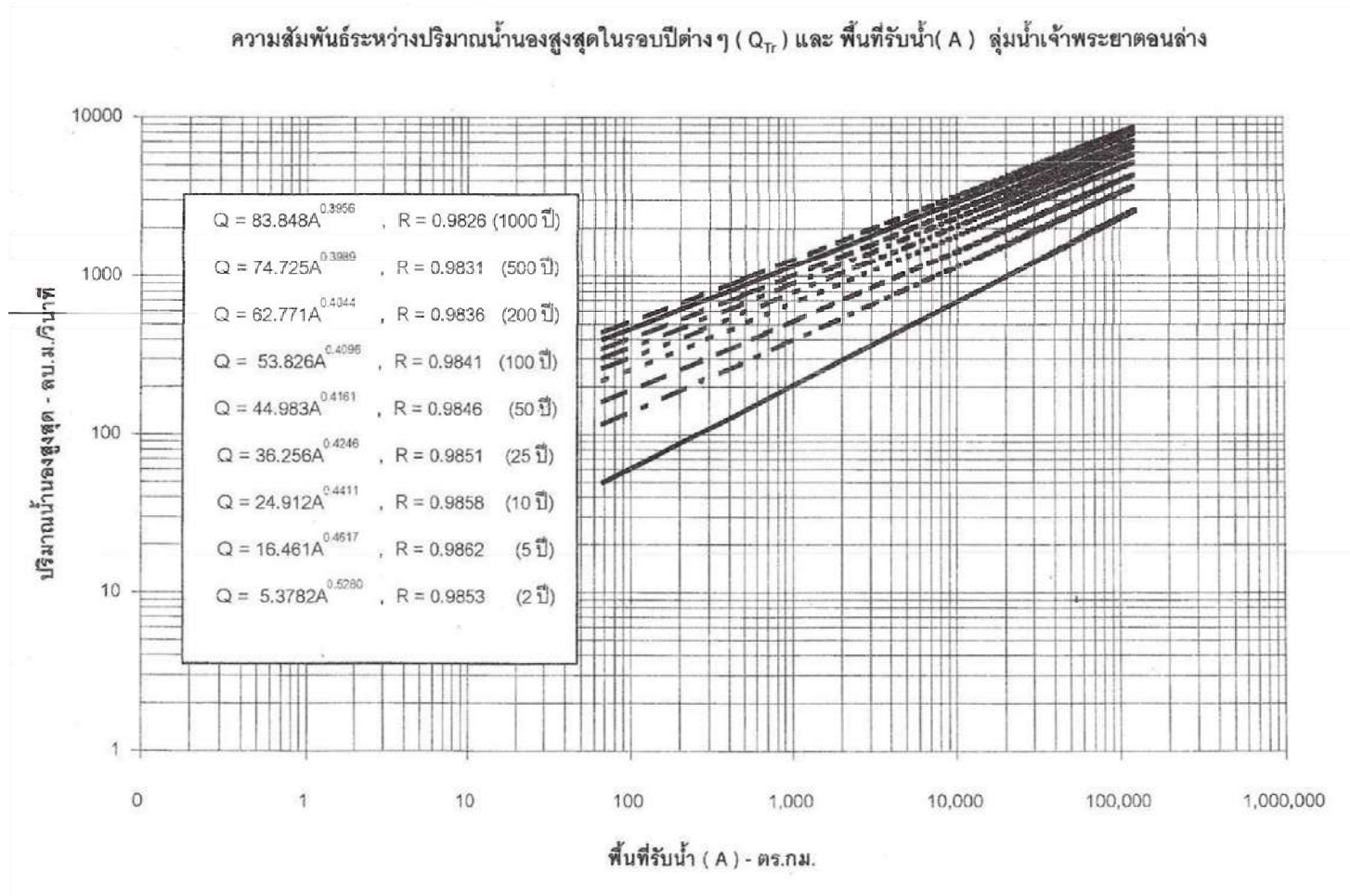
เมื่อ Q_{Tr} = พื้นที่ลุ่มน้ำ หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร
 a, b = สัมประสิทธิ์สมการถดถอย



ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุด (Q_T) กับพื้นที่รับน้ำ (A) สำหรับลุ่มน้ำต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.3-1 และรูปที่ 3.3-2 ซึ่งวิธีการประเมิน วิศวกรผู้ออกแบบเพียงกำหนดค่าพื้นที่รับน้ำของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด จากนั้นพิจารณาว่าพื้นที่ศึกษาอยู่ในลุ่มน้ำใด ก็ให้แทนค่าขนาดพื้นที่รับน้ำไปในสมการความสัมพันธ์แบบถดถอย(Regression) ของลุ่มน้ำนั้นตามรอบปีการเกิดซ้ำที่ใช้ในการออกแบบ ก็จะสามารถประเมินอัตราการไหลสูงสุดสำหรับการออกแบบได้



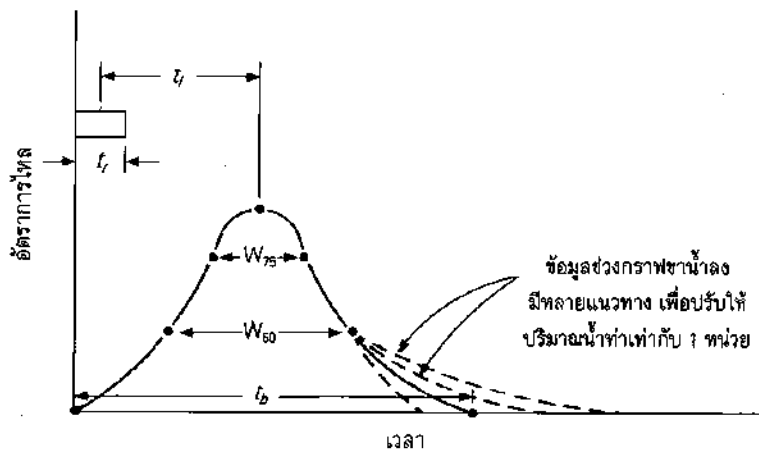
รูปที่ 3.3-1 ตัวอย่างของกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค ของลุ่มน้ำน่าน



รูปที่ 3.3-2 ตัวอย่างของกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค ของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

3.4. วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph)

วิธีการนี้เป็นวิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำหรับบริเวณพื้นที่ศึกษาซึ่งไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยจะทำการใช้สังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าขึ้นมา ซึ่งหลักการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้ถูกนำเสนอโดย Snyder F.F ใน ปี ค.ศ. 1938 ซึ่งได้นำข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาของพื้นที่รับน้ำแห่งนี้ ซึ่งมีขนาด 10 ถึง 10,000 ตารางไมล์ จากพื้นที่ราบสูงของเทือกเขาแอพพาลาเชียในสหรัฐอเมริกา มาทำการคำนวณตัวแปรต่างๆ คือ Time Lag ฐานเวลา (Time base) ช่วงเวลาวิกฤตของฝน ดังแสดงในรูปที่ 3.4-1



รูปที่ 3.4-1 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ตามวิธีของ Snyder

Snyder สามารถหาค่าอัตราการไหลที่ช่วงเวลาต่างๆ เนื่องจากฝนตกในพื้นที่รับน้ำได้ และสำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำในงานทาง ตัวแปรสำคัญที่ต้องการทราบคือค่าอัตราการไหลสูงสุด (Peak Discharge) ซึ่งในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด จะต้องมีการคำนวณได้จากสมการต่างๆ ดังนี้

ช่วงเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด (Time to peak, T_t)

$$T_t = C_t (LL_c)^{0.03}$$

- เมื่อ L = คือระยะทางตามแนวละน้ำสายหลักจากจุดไกลสุด บนสันปันน้ำถึงตำแหน่งที่พิจารณา ออกแบบ อาคารระบายน้ำ หน่วยเป็นกิโลเมตร
- L_c = คือระยะทางตามแนวลำน้ำสายหลัก จากจุดที่ใกล้จากจุดศูนย์กลางของพื้นที่รับน้ำมากที่สุด ถึงจุดที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำมีหน่วยเป็นกิโลเมตร



C_t = คือค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทและที่ตั้งของลำน้ำ

ค่า L และ L_c ประมาณค่าได้จาก แผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ สำหรับค่า C_t จากผลการศึกษาของ Snyder ในพื้นที่ราบสูงแอ่งพลาเซีย มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 ถึง 2.2

ช่วงเวลาวิกฤตของฝน (Critical Rainfall Duration, T_r)

$$T_r = \frac{T_i}{5.5} = \frac{C_t}{5.5} (L \cdot L_c)^{0.3}$$

สำหรับพื้นที่รับน้ำฝนในประเทศไทยมีหลายหน่วยงานให้เลือกใช้ค่า $C_t = 1.5$ ดังนั้น

$$T_r = 1.5/5.5 \times (L \cdot L_c)^{0.3}$$

หรือ

$$= 1.5/5.5 \times (L^{0.30})(L_1)^{0.30}$$

เมื่อ T_r = ช่วงเวลาฝนวิกฤต มีหน่วยเป็นชั่วโมง
 L_1 = อัตราส่วน (L_c/L)

เมื่อได้ T_r แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหาค่า Q_p จากสูตร

$$Q_p = K_p / T_r$$

โดยค่า q_p = อัตราการไหลสูงสุดของกราฟ 1 หน่วยน้ำท่า มีหน่วยเป็นลิตร /วินาที/ตารางกิโลเมตร

K_p = สัมประสิทธิ์ มีค่าประมาณ 28 ถึง 34 ขึ้นอยู่กับความลาดชันของกลุ่มน้ำและพืชที่ปกคลุมดิน

นำค่า q_p ไปหาค่าอัตราการไหลสูงสุดจากพื้นที่ด้วยสมการ

$$Q = 0.001q_p (\alpha I - \phi) T_r A$$



- เมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุดมีหน่วยเป็น ลบ.เมตร/วินาที
- α = reduction factor สำหรับลดขนาด point rainfall intensity ในกรณีลุ่มน้ำขนาดใหญ่
- I = ความเข้มข้นน้ำฝนมีหน่วยเป็น มม./ ชม. จากกราฟความเข้มข้นน้ำฝน-ช่วงเวลา-ความถี่การเกิดซ้ำ
- ϕ = ความสามารถซึมได้ของดิน (Infiltration capacity) มีหน่วยเป็น มม./ชั่วโมง
- A = พื้นที่ลุ่มน้ำมีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถประเมินได้จาก ตารางที่ 3.4-1 ถึง ตารางที่ 3.4-3 และรูปที่ 3.4-2

ตารางที่ 3.4-1 ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณการไหลสูงสุด (Peak Discharge Coefficient) K_p

Catchment Topography	Peak Discharge Coefficient K_p
Foothills and gently undulating slopes with forest or grass cover	28-30
Steep forested terrain in the head waters, foothills and plain with a cover of forest or grass in the lower reaches	30-32
Steep forested slopes of high and low mountains	32-34

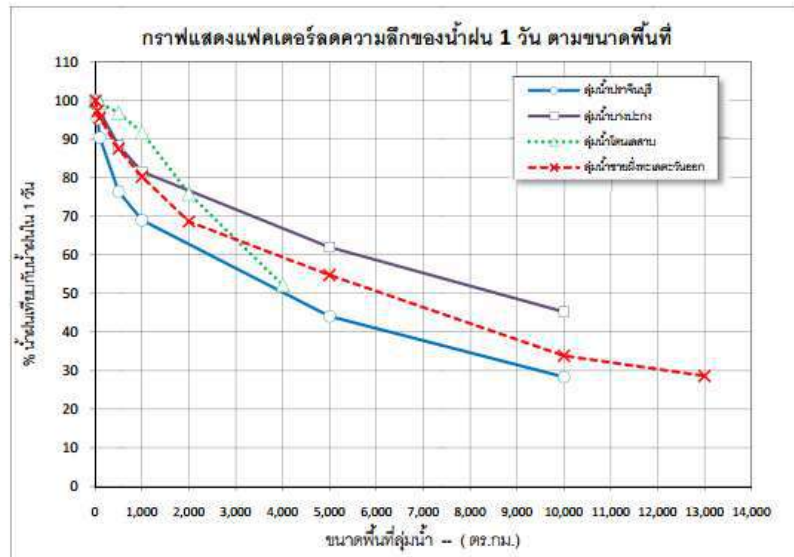
ตารางที่ 3.4-2 ค่าความสามารถซึมผ่านได้ของดิน (Infiltration capacity) (ϕ)

Cover Factor	Type	ϕ (mm/hr)		
		Clays	Clay Loams	Sandy Loams
1.0-2.0	Poor	2-9	4-13	5-20
2.0-4.0	Medium	5-7	8-27	13-45
4.0-8.0	Good	10-35	15-55	25-90

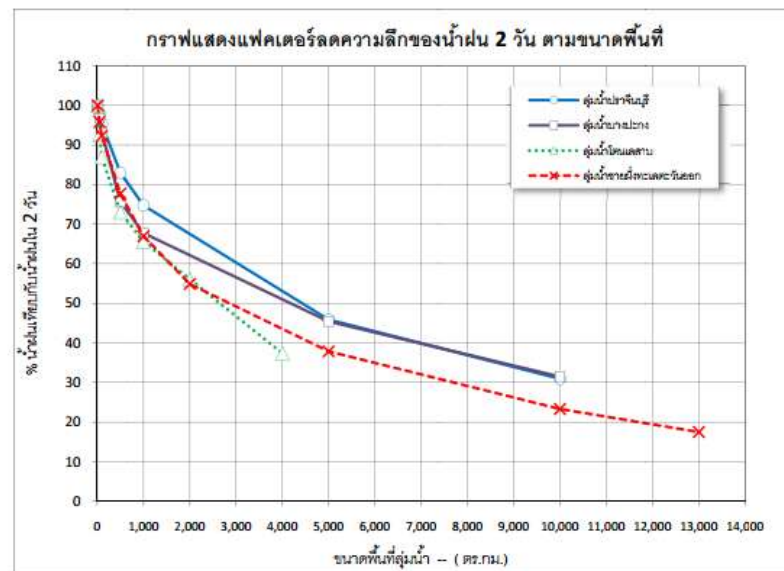


ตารางที่ 3.4-3 Infiltration Cover Factors

Vegetation	Condition	Cover Factor
Forest	Good-dense canopy, thick undergrowth, plant litter and humus more than 25 mm in thickness.	4.0-8.0
	Medium-thin forest, sparse undergrowth of shrubs and grasses, litter and humus 5-25 mm thick, slight soil erosion.	2.0-4.0
	Poor-Isolated clumps of tress and bamboo. Little grass between clumps, humus less than 5 mm thick, area eroded or overgrazed	1.0-2.0
Grasses (Including Rice)	Good-dense vegetal cover of high quality grass, areas in grass for several years, not overgrazed, inundated rice at all stages of growth.	4.0-8.0
	Medium-vegetal density 30-80 percent of that of good areas in grass at least 2 years , not overgrazed	2.0-4.0
	Poor-density of vegetation less than 30 percent of that of good areas, sparse growth of poor quality grass , area overgrazed	1.0-2.0
Close Growing Crops (Small Grains)	Good-high plant density, soil fertility at high level	2.5-3.0
	Medium-density and fertility 30-80 percent of that of good areas.	1.5-2.0
	Poor-sparse cover, density and fertility less than 30 percent of that good areas.	1.0-1.5
Row Crops	Good-flourishing vegetation ,high soil fertility ,land in best rotation, good framing practices followed	1.3-1.5
	Medium-vegetation good, fertility 30-80 percent of that of good areas, land in fair rotation, conservative farming practices followed	1.1-1.5
	Poor-vegetation poor, fertility less than 30 percent of that of good areas, row crops grown continuously, poor farming practices followed	1.0-1.1



(ก) ฝนตก 1 วัน



(ข) ฝนตก 2 วัน

รูปที่ 3.4-2 กราฟแฟคเตอร์ลดน้ำฝนตามขนาดพื้นที่



3.5. สรุปข้อเด่นและข้อจำกัดของการออกแบบอัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีการต่างๆ

จากการศึกษาทบทวนวิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดสำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของกรมทางหลวง ทั้ง 4 วิธี ซึ่งประกอบด้วย วิธี Rational Method วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) สามารถสรุปข้อเด่นและข้อจำกัดในการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติได้ดังนี้

วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธี Rational Method	<ul style="list-style-type: none">• เป็นวิธีการที่วิศวกรส่วนใหญ่นิยมใช้ เนื่องจากการคำนวณไม่ซับซ้อน• สามารถคำนวณอัตราการไหลสูงสุด (Q_{peak}) ได้ในจุดพิจารณาที่ไม่มีสถานีตรวจวัดได้• ไม่จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยาขั้นสูง เนื่องจากตัวแปรที่จำเป็นในการคำนวณมีเพียง 3 ค่าคือ 1) ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient) จากการพิจารณา ลักษณะดินและการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษาและเปิดตาราง 2) ช่วงเวลาการตกของน้ำฝน (Duration) ซึ่งคำนวณจากสมการ Time of Concentration (T_c) และ 3) ค่าความเข้มของน้ำฝน (Intensity) ซึ่งอ่านได้จาก IDF Curve ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ ซึ่งในกรณีที่มีการศึกษาไว้จากหน่วยงานต่างๆ ก็สามารถนำมาใช้ได้เลย	<ul style="list-style-type: none">• ใช้ได้กับเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร• ค่าคำนวณได้เฉพาะอัตราการไหลสูงสุด แต่ไม่สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่ารวมได้ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่ไม่มีอิทธิพลของปริมาตรเก็บกักเท่านั้น• เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึงการประเมินลักษณะทางด้านกายภาพของกลุ่มน้ำ (เพื่อคำนวณ Time of Concentration) ดังนั้นวิศวกรจึงจำเป็นต้องมีความรู้ในด้านการใช้ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์



วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธี Rational Method (ต่อ)	<ul style="list-style-type: none">จากข้อเด่นทั้ง 3 ประการ ดังที่กล่าวข้างต้น วิศวกรโดยส่วนใหญ่ จึงมักนิยมนำวิธีนี้มาใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ เพราะข้อมูลที่จำเป็นต้องนำมาใช้คืออัตราการไหลสูงเท่านั้น	<ul style="list-style-type: none">IDF Curve ที่มีอยู่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้มีความเป็นปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบการเกิดฝนในสภาพปัจจุบัน ซึ่งผู้สร้าง IDF curve ต้องมีความรู้พื้นฐานในทฤษฎีสถิติทางอุทกวิทยา



วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)	<ul style="list-style-type: none">• เป็นวิธีการที่สามารถประเมินได้ทั้งอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรกราฟน้ำนองในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ออกแบบอาคารชลศาสตร์ที่มีอิทธิพลจากปริมาตรเก็บกักเช่นอ่างเก็บน้ำ หรือหนองน้ำ เป็นต้น• ข้อมูลอัตราการไหลที่คำนวณได้มีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากใช้ข้อมูลปริมาณการไหลที่ตรวจวัดจริงมาทำการวิเคราะห์โดยตรง• สามารถคำนวณกราฟน้ำท่าหลากได้ทั้งแบบที่เกิดจากน้ำฝนเหตุการณ์เดียว (Single Event) และเหตุการณ์น้ำฝนแบบต่อเนื่อง (Continuous Event)	<ul style="list-style-type: none">• ใช้ได้กับพื้นที่ที่มีขนาดไม่เกิน 1,000 ตารางกิโลเมตร• เนื่องจากต้องใช้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลลักษณะทางด้านกายภาพของกลุ่มน้ำ ดังนั้นวิศวกรจึงจำเป็นต้องมีความรู้ในด้านการใช้ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์• ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณ T_p และ Q_p เป็นค่าจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Regression Analysis จากข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้มีความเป็นปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณการไหลที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่• วิธีการนี้ใช้ความสัมพันธ์ของน้ำฝนเพื่อประเมินน้ำท่า ดังนั้นถ้าในพื้นที่ศึกษามีข้อมูลน้ำฝนอย่างจำกัดอาจส่งผลต่อการประเมินกราฟน้ำท่าที่สูงหรือต่ำเกินไปได้



วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) (ต่อ)		<ul style="list-style-type: none">• ขั้นตอนการวิเคราะห์มีความซับซ้อน ผู้วิเคราะห์จึงต้องมีความรู้ ความเข้าใจ ประสบการณ์ด้านอุทกวิทยาเป็นอย่างดี• ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษาที่ไม่มีสถานีตรวจวัดได้



วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธีการความถี่น้ำท่วมแบบกลุ่มน้ำรวม (Regional Flood Frequency Analysis)	<ul style="list-style-type: none">• มีวิธีการคำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อน ถ้าพื้นที่ศึกษามีการสร้างความสัมพันธ์แบบกลุ่มน้ำรวม ต่างๆ ไว้พร้อมต่อการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ย (Q_F) กับพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) และความสัมพันธ์ระหว่าง Q_F กับปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (Q_{Tr})• สามารถใช้กับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำทำได้• สามารถใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดมากกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตรขึ้นไปได้ขึ้นอยู่กับช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ลุ่มน้ำรวม	<ul style="list-style-type: none">• ในการคำนวณจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Q_F-A และ Q_F กับ Q_{Tr} ดังนั้นหากจำเป็นต้องมีการปรับปรุงข้อมูลให้มีความเป็นปัจจุบัน จะต้องใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากหลายๆ สถานีมาทำการวิเคราะห์ และต้องใช้ความรู้ ความเข้าใจที่ดีในหลักสถิติทางอุทกวิทยา• เนื่องจากวิธีการนี้ประเมินจากข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาของสถานีต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นหากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างจากลักษณะโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำมาก อัตราการไหลที่ประเมินได้อาจจะไม่สอดคล้องกับอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง• ถ้าใช้วิธีนี้กับพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำนอกช่วงจากสถานีที่นำมาสร้างความสัมพันธ์ต่างๆ อาจส่งผลต่อการผิดพลาดในการคำนวณได้



วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธีการพหุหน่วยน้ำทำสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph)	<ul style="list-style-type: none">● เป็นวิธีการที่สามารถประเมินได้ทั้งอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรกราฟน้ำนองในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ออกแบบอาคารชลศาสตร์ที่มีอิทธิพลจากปริมาตรเก็บกักเช่นอ่างเก็บน้ำ หรือหนองน้ำ เป็นต้น● สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำทำได้ ด้วยการกำหนดค่าคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ของลุ่มน้ำ● สามารถคำนวณกราฟน้ำหลากได้ทั้งแบบที่เกิดจากน้ำฝนเหตุการณ์เดียว (Single Event) และเหตุการณ์น้ำฝนแบบต่อเนื่อง (Continuous Event)	<ul style="list-style-type: none">● ใช้ได้กับพื้นที่ที่มีขนาดไม่เกิน 1,000 ตารางกิโลเมตร● เนื่องจากต้องใช้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลลักษณะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำ ดังนั้นวิศวกรจึงจำเป็นต้องมีความรู้ในด้านการใช้ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์● จำเป็นต้องทราบลักษณะของดินในพื้นที่เพื่อประเมินอัตราการซึมผ่านได้● จำเป็นต้องใช้ข้อมูลกราฟแพคเตอร์ลดน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ซึ่งหากในพื้นที่ศึกษาไม่มีข้อมูลนี้จำเป็นต้องสร้างขึ้นมา ซึ่งต้องใช้พื้นฐานทางอุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลสถิติน้ำฝนและน้ำท่าในอดีตจากสถานีตรวจวัดจำนวนมาก● วิธีการนี้ใช้ความสัมพันธ์ของน้ำฝนเพื่อประเมินน้ำท่า ดังนั้นถ้าในพื้นที่ศึกษามีข้อมูลน้ำฝนอย่างจำกัดอาจส่งผลกระทบต่อผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่สูงหรือต่ำเกินไปได้



บทที่ 4

แบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำของหน่วยงานในประเทศ

4. แบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำของหน่วยงานในประเทศ

ในการรวบรวมข้อมูลแบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำของหน่วยงานในประเทศ ที่ปรึกษาจะรวบรวมเฉพาะแบบมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับท่อลอดถนนจากหน่วยงานหลักของประเทศไทย 4 หน่วยงาน ได้แก่ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ ซึ่งรายละเอียดสำหรับแบบมาตรฐานของแต่ละหน่วยงาน แสดงได้ดังนี้

4.1. กรมทางหลวง

ที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมแบบมาตรฐานท่อลอดของกรมทางหลวงตามที่แสดงไว้ในเอกสารการรวบรวมแบบมาตรฐาน อาคารระบายน้ำ ซึ่งจากแบบมาตรฐานดังกล่าว สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- แบบมาตรฐานท่อลอดของกรมทางหลวงมีทั้งประเภทของท่อกลมและท่อเหลี่ยม
- ท่อกลมมีการกำหนดแบบมาตรฐานของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อตั้งแต่ 0.3-1.50 เมตร
- แบบมาตรฐานท่อกลม มีการกำหนดให้รูปแบบการติดตั้งตามค่า CBR ของดินไว้ 2 แบบ คือ $CBR > 2\%$ และ $CBR < 2\%$
- แบบมาตรฐานของท่อกลม มีจำนวนของท่อวางขนานกันตั้งแต่ 1 - 3 แถว
- แบบมาตรฐานของท่อเหลี่ยม (Box Culvert) มี 9 ขนาด ดังนี้
 - 1.20 × 1.20 เมตร
 - 1.50 × 1.20 เมตร
 - 1.50 × 1.50 เมตร
 - 1.80 × 1.50 เมตร
 - 1.80 × 1.80 เมตร
 - 2.10 × 1.80 เมตร
 - 2.10 × 2.10 เมตร
 - 2.40 × 2.10 เมตร
 - 2.40 × 2.40 เมตร



- ในแบบมาตรฐานของท่อลอดทั้งในส่วนของท่อกลมและท่อเหลี่ยม มีตารางมิติ (Table of Dimensions) แสดงรายละเอียดขนาดและการเสริมเหล็กสำหรับท่อลอดแต่ละประเภทและแต่ละขนาด



4.2. กรมทางหลวงชนบท

ที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมแบบมาตรฐานท่อลอดของกรมทางหลวงชนบทตามที่แสดงไว้ในเอกสารการรวบรวมแบบมาตรฐาน ซึ่งจากแบบมาตรฐานดังกล่าว สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- แบบมาตรฐานท่อลอดของกรมทางหลวงชนบทมีทั้งประเภทของท่อกลมและท่อเหลี่ยม
- ท่อกลมมีการกำหนดแบบมาตรฐานของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อตั้งแต่ 0.4-1.50 เมตร
- แบบมาตรฐานท่อกลม มีการกำหนดให้รูปแบบการติดตั้งตามค่า CBR ของดินไว้ 2 แบบ คือ $CBR > 4\%$ และ $1\% < CBR < 4\%$
- ในกรณีที่ดินมีค่า CBR อยู่ในช่วง $1\% < CBR < 4\%$ จะต้องมีการเสริมเข็มไม้ในฐานราก
- แบบมาตรฐานของท่อกลม มีจำนวนของท่อวางขนานกันตั้งแต่ 1 - 3 แถว
- แบบมาตรฐานของท่อเหลี่ยม (Box Culvert) มี 25 ขนาด โดยมีความกว้างตั้งแต่ 1.20 - 4.00 เมตร และความสูงตั้งแต่ 1.20 - 2.50 เมตร
- ในแบบมาตรฐานของท่อลอดทั้งในส่วนของท่อกลมและท่อเหลี่ยม มีตารางมิติ (Table of Dimensions) แสดงรายละเอียดขนาดและการเสริมเหล็กสำหรับท่อลอดแต่ละประเภทและแต่ละขนาด



4.3. กรมชลประทาน

ที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมแบบมาตรฐานท่อลอดของกรมชลประทานตามที่แสดงไว้ในภาคผนวก ค เอกสาร
การรวบรวมแบบมาตรฐาน ซึ่งจากแบบมาตรฐานดังกล่าว สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- แบบมาตรฐานท่อลอดของกรมชลประทานมีทั้งประเภทของท่อกลมและท่อเหลี่ยม
- มีรูปแบบการก่อสร้างในการวางท่อ (การติดตั้ง) สำหรับ ท่อกลม 10 รูปแบบ และท่อเหลี่ยม 3 รูปแบบ
- แบบมาตรฐานของท่อกลมมีการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ 1.00 เมตร ในทุกรูปแบบ
- แบบมาตรฐานของท่อกลม มีจำนวนของท่อวางขนานกันตั้งแต่ 1 - 3 แถว
- แบบมาตรฐานของท่อเหลี่ยม (Box Culvert) มีจำนวนช่องสูงสุด 4 ช่อง
- แบบมาตรฐานของกรมชลประทาน จะแสดงรายละเอียดการก่อสร้างแยกตามรูปแบบต่างๆ คือ ท่อกลม 10 รูปแบบ และท่อเหลี่ยม 3 รูปแบบ ดังนั้นในแบบรายละเอียดจึงไม่มีการแสดงตารางมิติ (Table of Dimesions)
- ขนาดของท่อเหลี่ยมมีขนาดใหญ่ไม่เกิน 2.40×2.40 เมตร
- รายละเอียดการเสริมเหล็กสำหรับท่อเหลี่ยมขนาดต่างๆ อ้างอิงแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงปี 1994



4.4. กรมทรัพย์ากรน้ำ

ที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมแบบมาตรฐานท่อลอดของกรมทรัพย์ากรน้ำตามที่แสดงไว้ในเอกสารการรวบรวมแบบมาตรฐาน. ซึ่งจากแบบมาตรฐานดังกล่าว สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- แบบมาตรฐานท่อลอดของกรมทรัพย์ากรน้ำมีทั้งประเภทของท่อกลมและท่อเหลี่ยม
- ท่อกลมมีการกำหนดแบบมาตรฐานของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อตั้งแต่ 0.5-1.20 เมตร
- แบบมาตรฐานของท่อกลม มีจำนวนของท่อวางขนานกันตั้งแต่ 1 - 2 แถว
- แบบมาตรฐานของท่อเหลี่ยม (Box Culvert) มี 4 ขนาด ดังนี้
 - 1.00 x 1.00 เมตร
 - 1.25 x 1.25 เมตร
 - 1.50 x 1.50 เมตร
 - 1.75 x 1.75 เมตร
- แบบมาตรฐานของท่อเหลี่ยม (Box Culvert) มีกำหนดไว้เพียง 1 แถว
- เนื่องจากท่อเหลี่ยม มีเพียง 4 ขนาด ดังนั้นจึงแสดงรายละเอียดการเสริมเหล็กไว้ 2 แบบ คือ 1) การเสริมเหล็กสำหรับท่อเหลี่ยมขนาด 1.00 x 1.00 และ 1.25 x 1.25 เมตร 2) การเสริมเหล็กสำหรับท่อเหลี่ยมขนาด 1.50 x 1.50 และ 1.75 x 1.75 เมตร ทำให้ไม่มีตารางมิติ (Table of Dimesions) แสดงรายละเอียดขนาดและการเสริมเหล็กสำหรับท่อเหลี่ยม



4.5. สรุปเปรียบเทียบแบบมาตรฐานท่อลอดและอาคารระบายน้ำผ่านถนนของหน่วยงานต่างๆ

จากผลการรวบรวมข้อมูลแบบมาตรฐานท่อลอดและอาคารระบายน้ำผ่านถนนของหน่วยงานต่างๆ ในประเทศ ซึ่งประกอบด้วย กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท กรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ สามารถนำรายละเอียดของแบบมาตรฐานในแต่ละหน่วยงานมาเปรียบเทียบกันได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.5-1

ตารางที่ 4.5-1 การเปรียบเทียบแบบมาตรฐานท่อลอดและอาคารระบายน้ำผ่านถนนของหน่วยงานต่างๆ

พารามิเตอร์	กรมทางหลวง	กรมทางหลวงชนบท	กรมชลประทาน	กรมทรัพยากรน้ำ
ชนิดท่อลอดและอาคารระบายน้ำ	ท่อกลมและท่อเหลี่ยม	ท่อกลมและท่อเหลี่ยม	ท่อกลมและท่อเหลี่ยม	ท่อกลมและท่อเหลี่ยม
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกลมในแบบมาตรฐาน (เมตร)	0.3-1.5	0.4-1.5	1.0	0.5-1.2
จำนวนแถวของท่อกลมวางขนานกัน (แถว)	1-3	1-3	1-3	1-2
จำนวนรูปแบบของท่อเหลี่ยม (รูปแบบ)	9	25	3	4
จำนวนแถวของท่อเหลี่ยมวางขนานกันสูงสุด (แถว)	Multiple Box (ไม่จำกัด)	2	3	1
ขนาดใหญ่ที่สุดของท่อเหลี่ยม (เมตรxเมตร)	2.4 x 2.4	4.0 x 2.5	2.4 x 2.4	1.75 x 1.75
ตารางมิติ (Table of Dimesions)	มี	มี	อ้างอิงตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงปี 1994	ไม่มี แต่ จะแสดงการเสริมเหล็กและขนาดต่างๆ ไว้ในแบบรายละเอียดการก่อสร้าง



บทที่ 5

การคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง

5. การคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง

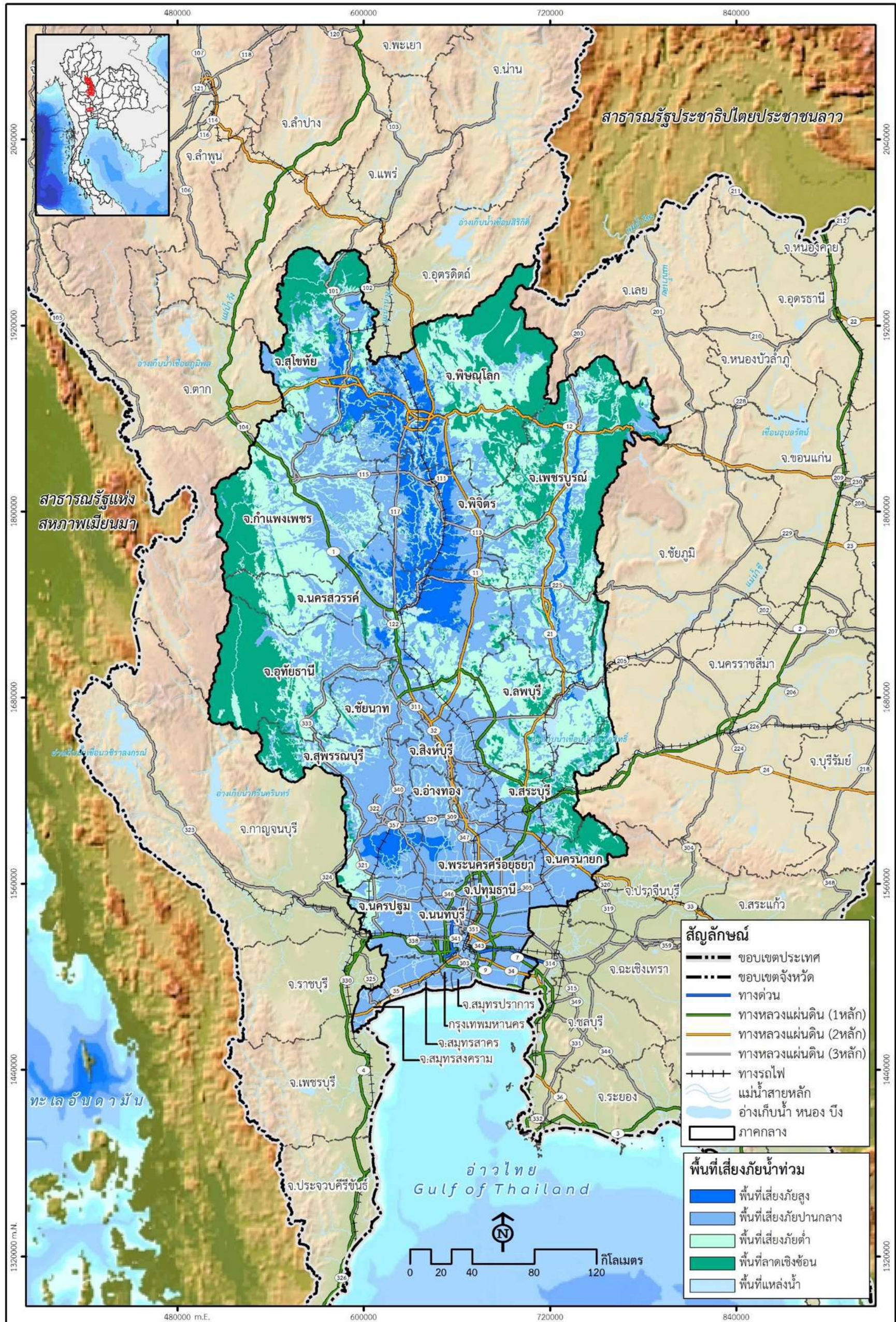
ในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง ที่ปรึกษาจะดำเนินการตั้งแต่การกำหนดหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา โดยในขั้นตอนนี้ ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดขนาดของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ และข้อมูลสถิติการเกิดเหตุภัยพิบัติน้ำท่วมบนทางหลวง จากนั้นทำการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา และจัดทำหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา ซึ่งรายละเอียดของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนตามที่กล่าวข้างต้น แสดงรายละเอียดได้ดังนี้



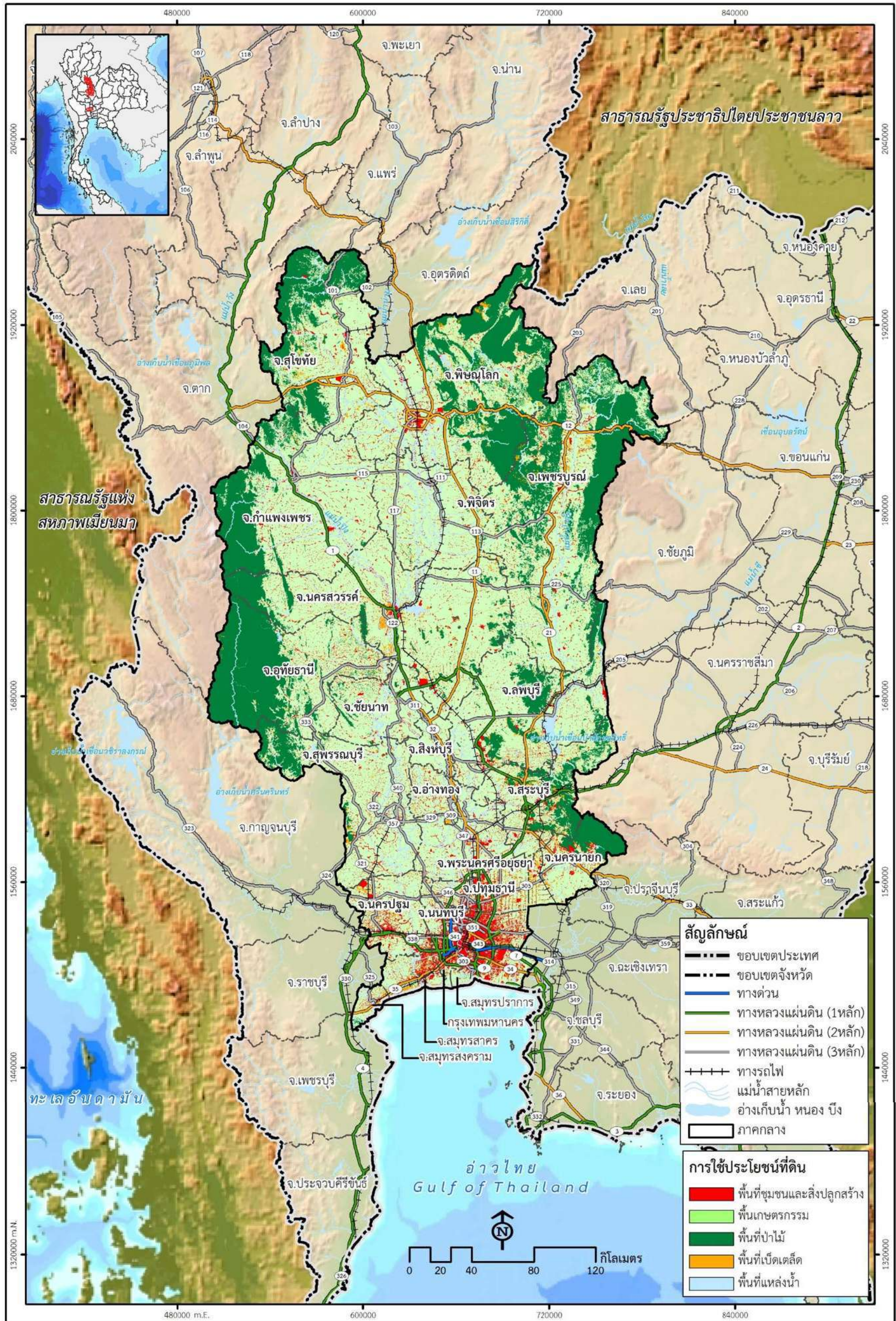
5.1. การรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา ที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลประเภทต่างๆ บริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย ในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง สำหรับนำมาใช้ในการคัดเลือกพื้นที่โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ดังนี้

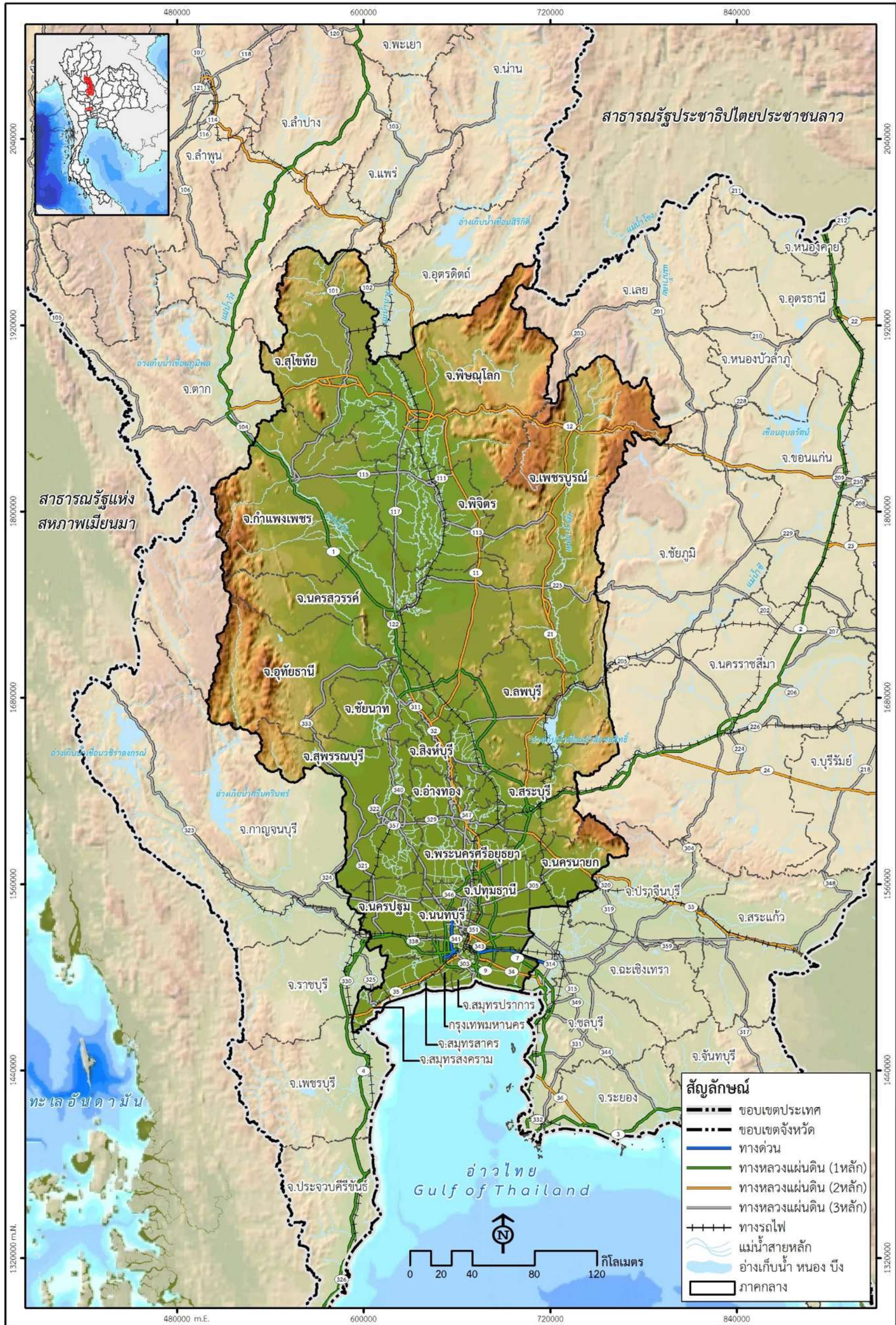
- ข้อมูลแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 (ปีล่าสุดที่มีการจัดทำข้อมูล) ดังแสดงในรูปที่ 5.1-1 และตารางที่ 5.1-1 ซึ่งพบว่า ในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย มีพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสูง ปานกลาง และต่ำ ประมาณ 7,222.65 39,581.54 และ 25,258.29 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 7.95 43.56 และ 27.80 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ
- ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2559 ดังแสดงในรูปที่ 5.1-2 และตารางที่ 5.1-2 ซึ่งพบว่า ในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยโดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณร้อยละ 62.91 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้และพื้นที่อยู่อาศัย และสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งมีสัดส่วนของพื้นที่ประมาณร้อยละ 23.18 และ 8.45 ของพื้นที่ทั้งหมดตามลำดับ
- สภาพภูมิประเทศจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ของกรมแผนที่ทหาร ปี พ.ศ. 2558 ดังแสดงในรูปที่ 5.1-3 และตารางที่ 5.1-3 ซึ่งพบว่า ในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยโดยส่วนใหญ่มีค่าความลาดชันของพื้นที่อยู่ในช่วง 0-5% ประมาณร้อยละ 73.13 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมา คือพื้นที่ที่มีความลาดชันในช่วง 5-10% และ 10-15% ซึ่งมีสัดส่วนของพื้นที่ประมาณร้อยละ 5.96 และ 4.23 ของพื้นที่ทั้งหมดตามลำดับ
- สถิติรายงานการเกิดเหตุอุทกภัยบนทางหลวง ที่ได้มีการบันทึกไว้ฐานข้อมูลของระบบบริหารงานภัยพิบัติและสถานการณ์ฉุกเฉิน กรมทางหลวง ในช่วงระหว่าง ปี พ.ศ. 2555 ถึงปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 5.1-4 และตารางที่ 5.1-4 ซึ่งพบว่า ในช่วงดังกล่าวมีการรายงานการเกิดอุทกภัยบนทางหลวงในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย 1,085 ตำแหน่ง โดยพื้นที่ที่มีการรายงานการเกิดน้ำท่วมมากที่สุด ได้แก่ พื้นที่รับผิดชอบของแขวงทางหลวงสมุทรปราการ รองลงมาได้แก่ พื้นที่ของแขวงทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 1 แขวงทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า) ตามลำดับ



รูปที่ 5.1-1 แผนที่น้ำท่วมเสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย



รูปที่ 5.1-2 การใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย



รูปที่ 5.1-3 สภาพภูมิประเทศในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยจากข้อมูลของแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่



รูปที่ 5.1-4 ตำแหน่งการเกิดอุทกภัยบนทางหลวงในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึง ปัจจุบัน (ข้อมูลจากระบบบริหารงานภัยพิบัติและสถานการณ์ฉุกเฉิน กรมทางหลวง)



ตารางที่ 5.1-1 สรุปข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

ประเภทพื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	สัดส่วนของพื้นที่ (ร้อยละ)
ความเสี่ยงสูง	7,222.65	7.95
ความเสี่ยงปานกลาง	39,581.54	43.56
ความเสี่ยงต่ำ	25,258.29	27.80
แหล่งน้ำ	529.47	0.58
ที่ลาดชันเชิงซ้อน	18,281.45	20.12
รวม	90,873.40	100.00

ตารางที่ 5.1-2 สรุปข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	สัดส่วนของพื้นที่ (ร้อยละ)
พื้นที่เกษตรกรรม	57,168.34	62.91
พื้นที่ป่าไม้	21,062.54	23.18
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	2,889.97	3.18
พื้นที่อยู่อาศัยและสิ่งปลูกสร้าง	7,679.66	8.45
พื้นที่แหล่งน้ำ	2,072.89	2.28
รวม	90,873.40	100.00

ตารางที่ 5.1-3 ความลาดชันเฉลี่ยในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

ความลาดชัน	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	สัดส่วนของพื้นที่ (ร้อยละ)
0-5%	66,457.50	73.13
5-10%	5,418.98	5.96
10-15%	3,841.34	4.23
15-20%	3,210.65	3.53
20-25%	2,711.48	2.98
25-30%	2,245.82	2.47
30-35%	1,832.97	2.02
มากกว่า 35%	5,154.66	5.67
รวม	90,873.40	100.00



ตารางที่ 5.1-4 สถิติรายงานการเกิดเหตุอุทกภัยบนทางหลวง

ลำดับ	แนวทางหลวง	จำนวนตำแหน่งพื้นที่ที่เกิดอุทกภัย
1	แนวทางหลวงตากที่ 1	13
2	แนวทางหลวงกำแพงเพชร	34
3	แนวทางหลวงพิษณุโลกที่ 1	12
4	แนวทางหลวงสุโขทัย	29
5	แนวทางหลวงพิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	31
6	แนวทางหลวงพิจิตร	17
7	แนวทางหลวงอุตรดิตถ์ที่ 2	2
8	แนวทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 1	134
9	แนวทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	54
10	แนวทางหลวงเลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	4
11	แนวทางหลวงลพบุรีที่ 1	62
12	แนวทางหลวงสระบุรี	45
13	แนวทางหลวงสิงห์บุรี	15
14	แนวทางหลวงลพบุรีที่ 2 (ลำน้ำราชมัย)	53
15	แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 1	58
16	แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	64
17	แนวทางหลวงสุพรรณบุรีที่ 1	29
18	แนวทางหลวงสุพรรณบุรีที่ 2 (อู่ทอง)	5
19	แนวทางหลวงชัยนาท	9
20	แนวทางหลวงอุทัยธานี	37
21	แนวทางหลวงอ่างทอง	10
22	แนวทางหลวงกรุงเทพ	34
23	แนวทางหลวงอยุธยา	40
24	แนวทางหลวงนครนายก	16
25	แนวทางหลวงสมุทรสาคร	22
26	แนวทางหลวงปทุมธานี	39
27	แนวทางหลวงสมุทรปราการ	137
28	แนวทางหลวงนนทบุรี	37
29	แนวทางหลวงธนบุรี	21
30	แนวทางหลวงนครปฐม	20
31	แนวทางหลวงสมุทรสงคราม	2
รวม		1,085



5.2. การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา ที่ปรึกษาจะอาศัยข้อมูลจากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซากและข้อมูลสถิติการเกิดอุทกภัยบนทางหลวงเป็นหลัก โดยในส่วนของพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากนั้นจะให้ความสำคัญกับพื้นที่บริเวณที่มีระดับความเสียหายน้ำท่วมซ้ำซากสูง ส่วนพื้นที่ที่เกิดปัญหาอุทกภัยบนทางหลวง จะพิจารณาจากพื้นที่ของแขวงทางหลวงที่มีจำนวนของตำแหน่งการเกิดเหตุน้ำท่วมมากที่สุด 5 อันดับแรก ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลดังที่แสดงในรูปที่ 5.1-4 และตารางที่ 5.1-4 พบว่า พื้นที่ของแขวงทางหลวงที่มีจำนวนตำแหน่งการรายงานการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมมากที่สุด 5 อันดับแรก มีดังนี้

- 1) แขวงทางหลวงสมุทรปราการ จำนวน 137 ตำแหน่ง
- 2) แขวงทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 1 จำนวน 134 ตำแหน่ง
- 3) แขวงทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า) จำนวน 64 ตำแหน่ง
- 4) แขวงทางหลวงลพบุรีที่ 1 จำนวน 62 ตำแหน่ง
- 5) แขวงทางหลวงนครสวรรค์ที่ 1 จำนวน 58 ตำแหน่ง

อย่างไรก็ตาม จากการพิจารณาสภาพของพื้นที่และการสอบถามข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของแขวงทางหลวงสมุทรปราการ พบว่า ปัญหาน้ำท่วมมีสาเหตุหลักที่เกิดจากปัญหาน้ำทะเลหนุนแม้ว่าในช่วงจะไม่มีฝนตก แต่ก็ทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมได้ ดังนั้นสาเหตุการเกิดน้ำท่วมจึงมาจากสภาพที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศเป็นหลัก ทำให้น้ำไม่สามารถระบายผ่านถนนได้ ดังนั้นแม้ว่าจะมีการแก้ไขปัญหาโดยการขยายหรือปรับปรุงอาคารระบายน้ำ แต่ยังไม่ยกระดับของถนนให้สูงขึ้น คาดว่าก็ยังประสบปัญหาน้ำท่วมถนนทางหลวงเช่นเดิม ดังนั้นการคัดเลือกพื้นที่สำหรับการแก้ไขปัญหาด้านขวางทางน้ำในเบื้องต้น จึงจะยังไม่พิจารณาการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ของแขวงทางหลวงสมุทรปราการ แต่จะพิจารณาพื้นที่ที่มีจำนวนรายงานการเกิดน้ำท่วมในลำดับถัดไป (ลำดับที่ 6) เข้ามาแทน คือ พื้นที่ของแขวงทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน) ซึ่งมีตำแหน่งของการเกิดน้ำท่วมจำนวน 54 ตำแหน่ง

จากข้อกำหนดในการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาตามที่กล่าวข้างต้น ที่ปรึกษาได้ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาโดยอาศัยหลักการแบ่งขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งจะอาศัยข้อมูลแนวเส้นลำน้ำ แนวคลองส่งน้ำ ตลอดจนแนวเส้นถนนเป็นขอบเขตในการแบ่งพื้นที่ โดยแต่ละพื้นที่จะอยู่ในเขตของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูงหรือเป็นตัวแทนของพื้นที่ในแขวงทางหลวงมีจำนวนตำแหน่งการรายงานการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมมากที่สุด 5 อันดับแรก

จากแนวทางการดำเนินงานขั้นต้น สามารถแบ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาในเบื้องต้นได้ทั้งหมด 36 พื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 5.2-1 และตารางที่ 5.2-1



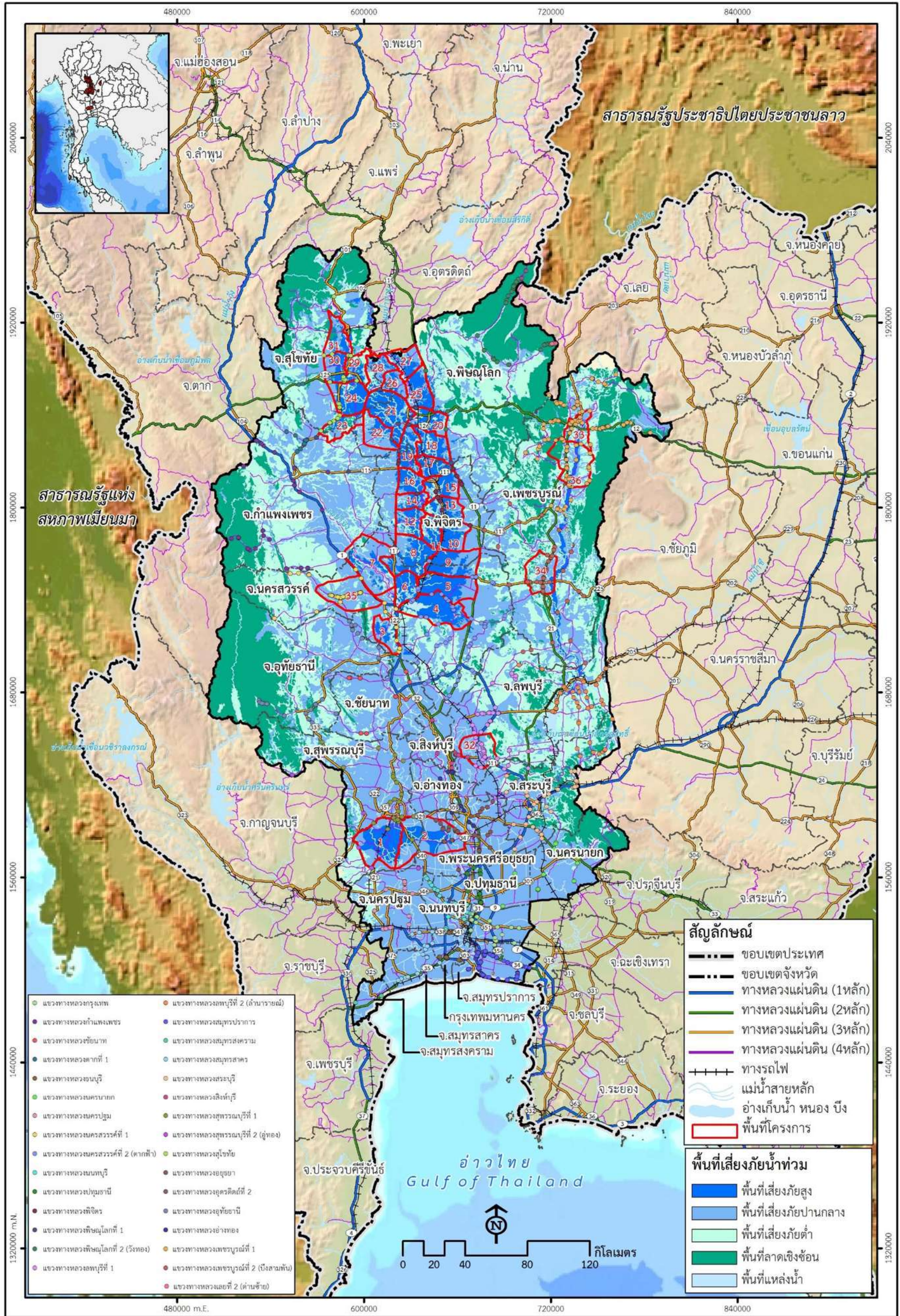
ตารางที่ 5.2-1 ขนาดของพื้นที่ที่ศึกษาตามการกำหนดขอบเขตบนพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสูงและรายงานสถิติการเกิด
น้ำท่วมบนทางหลวง

พื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลักเกณฑ์แบ่งพื้นที่
พื้นที่ที่ 1	710.98	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 2	917.15	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 3	277.37	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 4	626.66	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 5	530.92	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 6	277.01	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก และ มีรายงาน การเกิดน้ำท่วมบนทางหลวงสูงสุด 5 อันดับแรก
พื้นที่ที่ 7	784.94	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 8	616.85	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 9	511.84	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 10	317.90	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 11	248.07	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 12	293.76	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 13	293.51	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 14	200.91	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 15	326.54	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 16	242.79	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 17	235.18	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 18	339.82	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 19	312.46	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 20	314.14	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 21	613.48	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 22	352.67	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 23	271.71	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 24	433.33	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 25	359.50	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 26	202.90	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 27	300.31	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ที่ 28	301.68	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก



ตารางที่ 5.2-1 (ต่อ) ขนาดของพื้นที่ศึกษาตามการกำหนดขอบเขตบนพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมสูงและรายงานสถิติ
การเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง

พื้นที่	ขนาดพื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	หลักเกณฑ์แบ่งพื้นที่
พื้นที่ 29	265.42	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ 30	250.66	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ 31	296.09	เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากสูง จากแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก
พื้นที่ 32	397.08	มีรายงานการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวงสูงสุด 5 อันดับแรก
พื้นที่ 33	276.47	มีรายงานการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวงสูงสุด 5 อันดับแรก
พื้นที่ 34	430.60	มีรายงานการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวงสูงสุด 5 อันดับแรก
พื้นที่ 35	587.57	มีรายงานการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวงสูงสุด 5 อันดับแรก
พื้นที่ 36	598.41	มีรายงานการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวงสูงสุด 5 อันดับแรก



รูปที่ 5.2-1 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา



5.3. หลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

ในการกำหนดหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาของโครงการเพื่อการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ปรึกษาจะทำการคัดเลือกจากพื้นที่ที่ได้มีการกำหนดขอบเขตไว้ตามผลการศึกษาในหัวข้อที่ 5.2 ซึ่งจะเป็นเสี่ยงภัยน้ำท่วมในระดับสูง รวมถึงเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาน้ำท่วมทางหลวงจากข้อมูลสถิติการรายงานในช่วงที่ผ่านมา อย่างไรก็ตามในการคัดเลือกพื้นที่ยังต้องพิจารณาข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยลักษณะการใช้ที่ดิน ข้อมูลกลุ่มชุดดินและค่าความลาดชันของพื้นที่ควบคู่ไปด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นตัวแทนสำหรับการศึกษาปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในแต่ละสภาพภูมิประเทศที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างสมการในการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าที่จะนำเสนอขึ้นใหม่ได้ต่อไป ดังนั้นหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกพื้นที่ศึกษาของโครงการ ในครั้งนี้จะขอเสนอไว้ 4 หลักเกณฑ์ ดังนี้

1) หลักเกณฑ์จากข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง

การกำหนดหลักเกณฑ์จากข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง จะพิจารณาจากพื้นที่ที่เป็นตัวแทนของแขวงทางหลวงในพื้นที่ภาคกลางที่มีการรายงานจำนวนตำแหน่งการเกิดปัญหาน้ำท่วมมากที่สุด 5 อันดับแรก เนื่องจากถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาและต้องเข้าไปดำเนินการแก้ไขโดยเร่งด่วน

2) หลักเกณฑ์จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การพิจารณาตามหลักเกณฑ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จะคัดเลือกพื้นที่ที่สามารถเป็นตัวแทนลักษณะการใช้ที่ดินทุกประเภท เนื่องจากการใช้ที่ดินย่อมส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเป็นน้ำท่า หรือส่งผลต่อปริมาณและอัตราการไหลสูงสุด ของน้ำท่าที่จะคำนวณผ่านอาคารระบายน้ำนั่นเอง

3) หลักเกณฑ์จากข้อมูลค่าความลาดชันเฉลี่ยของพื้นที่

การพิจารณาตามหลักเกณฑ์ค่าความลาดชันเฉลี่ย จะพิจารณาคัดเลือกให้ครอบคลุมตัวแทนของพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง และพื้นที่ที่เป็นที่ราบ เนื่องจากค่าความลาดชันมีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการเดินทางของน้ำท่วมและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า

4) หลักเกณฑ์จากข้อมูลกลุ่มชุดดิน

การพิจารณาตามหลักเกณฑ์ข้อมูลกลุ่มชุดดิน จะพิจารณาคัดเลือกให้ครอบคลุมตัวแทนของพื้นที่ที่มีกลุ่มชุดดินหลักที่แตกต่างกัน เนื่องจากกลุ่มชุดดินแต่ละประเภท จะส่งผลต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งย่อมส่งผลต่อปริมาณและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าเช่นกัน



5.4. ผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง

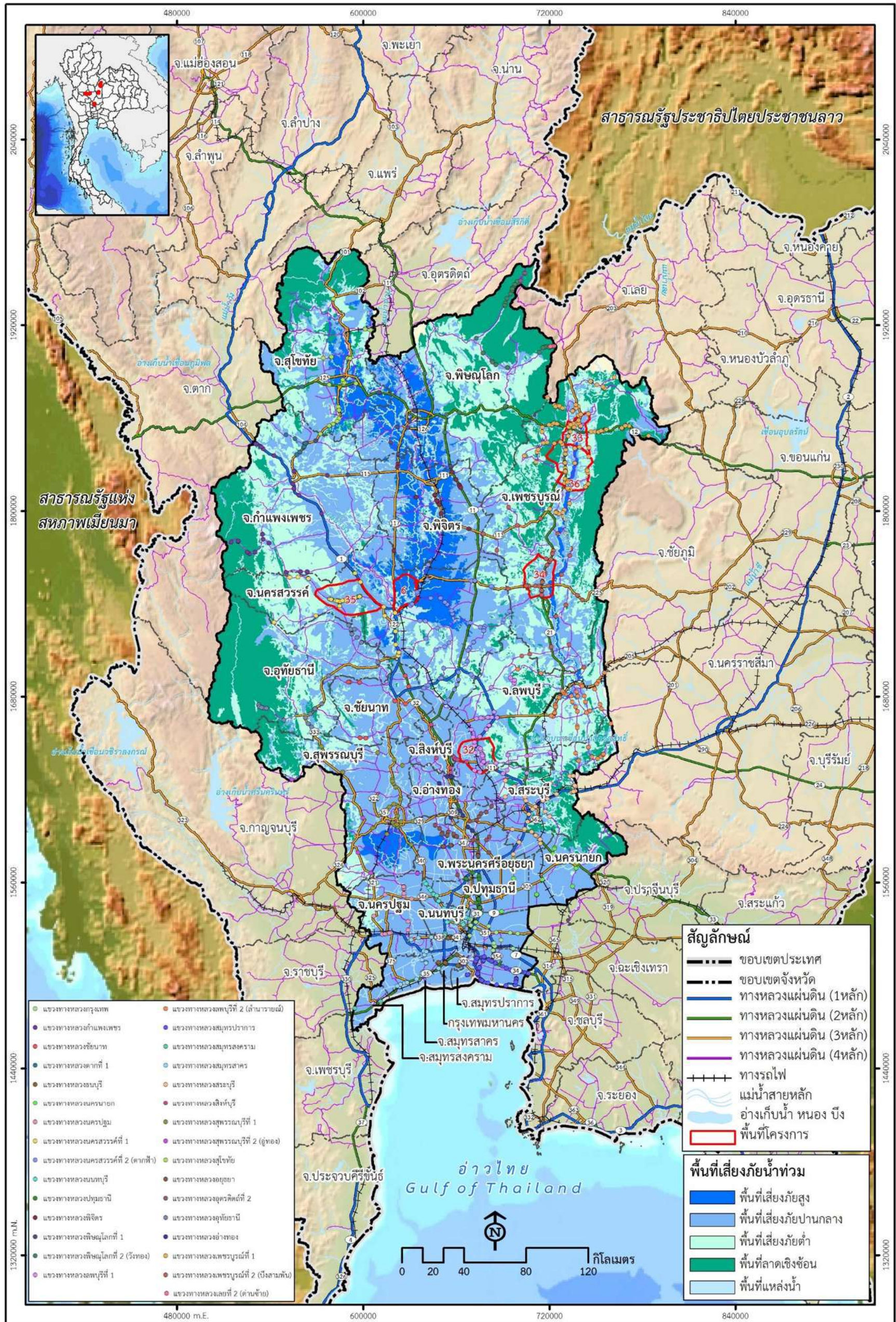
ในขั้นตอนของการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง ที่ปรึกษาจะใช้หลักเกณฑ์ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.3 เป็นแนวทางในการพิจารณา เพื่อคัดเลือกพื้นที่ ที่ได้มีการกำหนดขอบเขตไว้ตามหัวข้อที่ 5.2 โดยพื้นที่ที่จะคัดเลือก เป็นพื้นที่ศึกษานำร่องต้องเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาน้ำท่วมบนทางหลวงตามข้อมูลที่เคยเกิดขึ้นจริงในอดีต รวมถึงต้องมีความแตกต่างกันของลักษณะสภาพภูมิประเทศ เพื่อที่สามารถจะนำไปใช้ในการสร้างสมการการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าที่จะนำเสนอขึ้นใหม่ได้ ดังนั้นขั้นตอนและผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง จึงมีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

5.4.1. การคัดเลือกตามหลักเกณฑ์ข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง

ในการคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์สถิติการเกิดปัญหาน้ำท่วมบนทางหลวง ที่ปรึกษาจะพิจารณาจากข้อมูลการรายงานการเกิดน้ำท่วมผ่านทางระบบบริหารงานภัยพิบัติและสถานการณ์ฉุกเฉินของกรมทางหลวง ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2555 ถึง ปัจจุบัน (ดังแสดงในรูปที่ 5.1-4 และตารางที่ 5.1-4) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าว ดังกล่าว พบว่า พื้นที่ของแนวทางหลวงที่มีตำแหน่งการเกิดน้ำท่วมสูงสุด 5 อันดับแรก (ยกเว้นพื้นที่ของแนวทางหลวงสมุทรปราการ) ได้แก่ แนวทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 1 แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า) แนวทางหลวงลพบุรีที่ 1 แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 1 และแนวทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน) ซึ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาที่เป็นตัวแทนของตำแหน่งพื้นที่น้ำท่วม สำหรับแต่ละแนวทางหลวง สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5.4-1 และตารางที่ 5.4-1

ตารางที่ 5.4-1 พื้นที่ศึกษาตัวแทนของแนวทางหลวงที่มีปัญหาการเกิดน้ำท่วมบนสายทาง

ลำดับที่	หมายเลขพื้นที่	ตัวแทนพื้นที่น้ำในแนวทางหลวง
1	พื้นที่ที่ 6	แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)
2	พื้นที่ที่ 32	แนวทางหลวงลพบุรีที่ 1
3	พื้นที่ที่ 33	แนวทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 1
4	พื้นที่ที่ 36	
5	พื้นที่ที่ 34	แนวทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)
6	พื้นที่ที่ 35	แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 1



รูปที่ 5.4-1 ผลการคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง



5.4.2. การคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินตามตารางที่ 5.4-2 จะเห็นได้ว่า พื้นที่โดยส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือกตัวแทนของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่นที่ส่งผลต่อการเกิดน้ำท่วมที่แตกต่างกัน ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาจากข้อมูลสัดส่วนของพื้นที่ชุมชน ซึ่งจากตารางที่ 5.4-2 พบว่า พื้นที่ที่มีสัดส่วนของพื้นที่ชุมชนมากที่สุด 2 อันดับแรก ซึ่งอยู่นอกเหนือพื้นที่ที่ได้ทำการคัดเลือกจากเงื่อนไขที่ 1 (การคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง) ได้แก่ พื้นที่ที่ 20 และพื้นที่ที่ 19 คือ มีสัดส่วนของพื้นที่ชุมชนประมาณร้อยละ 31.22 และ 15.34 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกทั้ง 2 พื้นที่ดังกล่าว ตัวแทนของการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชน

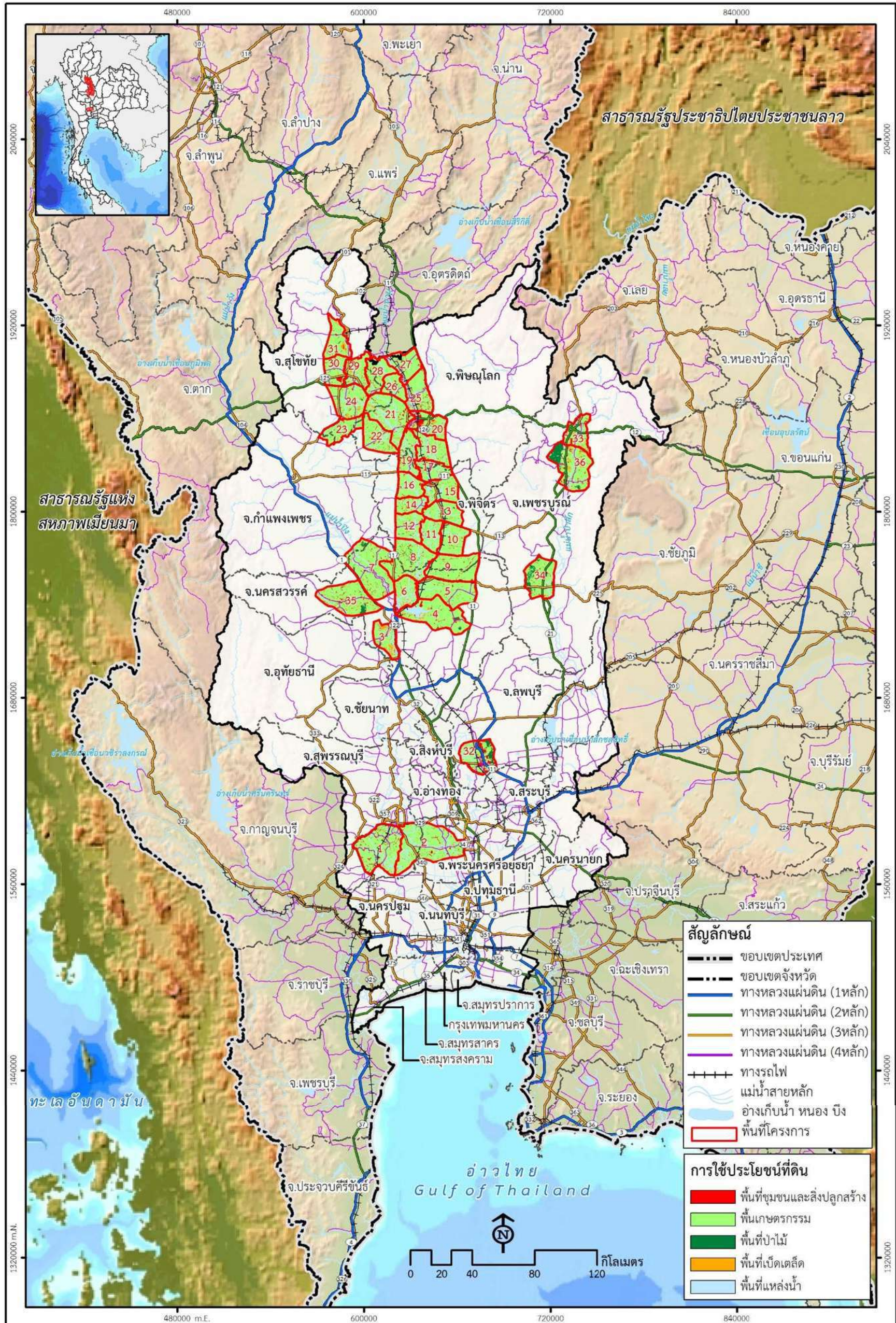
ตารางที่ 5.4-2 สัดส่วนของพื้นที่ตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ศึกษา

พื้นที่	สัดส่วนพื้นที่ (ร้อยละ)				
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่เกษตรกรรม	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	พื้นที่แหล่งน้ำ
พื้นที่ที่ 1	11.46	83.55	0.00	1.51	3.48
พื้นที่ที่ 2	8.52	86.65	0.00	1.74	3.09
พื้นที่ที่ 3	9.10	66.92	0.83	15.99	7.18
พื้นที่ที่ 4	5.94	76.19	1.25	4.74	11.88
พื้นที่ที่ 5	4.97	92.69	0.05	0.62	1.68
พื้นที่ที่ 6	9.29	71.52	0.22	11.19	7.78
พื้นที่ที่ 7	7.68	85.91	1.35	2.62	2.45
พื้นที่ที่ 8	7.44	83.75	1.75	3.61	3.45
พื้นที่ที่ 9	4.94	93.47	0.00	0.41	1.18
พื้นที่ที่ 10	7.45	89.18	0.02	1.74	1.61
พื้นที่ที่ 11	8.37	84.00	1.13	2.68	3.82
พื้นที่ที่ 12	5.56	85.91	1.09	4.65	2.79
พื้นที่ที่ 13	5.98	89.29	0.69	1.93	2.12
พื้นที่ที่ 14	5.76	87.42	0.58	3.76	2.49
พื้นที่ที่ 15	8.66	83.25	0.10	2.06	5.92
พื้นที่ที่ 16	7.38	86.82	0.30	2.49	3.01
พื้นที่ที่ 17	10.98	83.90	0.11	1.78	3.24
พื้นที่ที่ 18	8.41	86.83	0.40	1.89	2.47



ตารางที่ 5.4-2(ต่อ) สัดส่วนของพื้นที่ตามประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ศึกษา

พื้นที่	สัดส่วนพื้นที่ (ร้อยละ)				
	พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง	พื้นที่เกษตรกรรม	พื้นที่ป่าไม้	พื้นที่เบ็ดเตล็ด	พื้นที่แหล่งน้ำ
พื้นที่ที่ 19	15.34	75.89	0.56	3.34	4.86
พื้นที่ที่ 20	31.22	59.49	0.22	5.31	3.76
พื้นที่ที่ 21	7.16	82.48	0.53	6.43	3.40
พื้นที่ที่ 22	6.16	88.48	0.49	3.09	1.78
พื้นที่ที่ 23	4.51	91.42	0.82	1.92	1.34
พื้นที่ที่ 24	7.39	84.73	0.45	4.50	2.94
พื้นที่ที่ 25	12.53	79.52	0.95	2.40	4.60
พื้นที่ที่ 26	4.58	91.83	0.00	1.10	2.49
พื้นที่ที่ 27	12.00	81.10	1.23	1.03	4.65
พื้นที่ที่ 28	5.34	90.15	0.44	2.13	1.94
พื้นที่ที่ 29	10.10	82.89	0.06	3.73	3.22
พื้นที่ที่ 30	11.87	81.26	0.26	4.36	2.24
พื้นที่ที่ 31	7.90	84.02	0.51	5.25	2.32
พื้นที่ที่ 32	21.43	61.55	10.65	2.71	3.66
พื้นที่ที่ 33	19.16	70.90	0.40	8.72	0.82
พื้นที่ที่ 34	6.83	78.32	11.95	2.17	0.74
พื้นที่ที่ 35	6.95	84.60	3.23	4.17	1.05
พื้นที่ที่ 36	10.31	67.59	15.39	5.73	0.99



รูปที่ 5.4-2 การใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณขอบเขตพื้นที่ศึกษาทั้ง 36 พื้นที่



5.4.3. การคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ค่าความลาดชันเฉลี่ยของพื้นที่

จากข้อมูลความลาดชันเฉลี่ยของพื้นที่ศึกษาตามตารางที่ 5.4-3 จะเห็นได้ว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีความลาดชันอยู่ในช่วงระหว่าง 0-5% ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือกตัวแทนของพื้นที่ที่มีความลาดชันในช่วงอื่นๆ ซึ่งจากตารางที่ 5.4-3 พบว่า พื้นที่ที่มีสัดส่วนของความลาดชันในช่วงอื่นๆ นอกเหนือเหนือจากช่วง 0-5% ใน 2 อันดับแรก ซึ่งอยู่นอกเหนือจากพื้นที่ ที่ได้ทำการคัดเลือกตามเงื่อนไขที่ 1 (การคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง) และเงื่อนไขที่ 2 (การคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน) ได้แก่ พื้นที่ที่ 27 และ พื้นที่ที่ 31 อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาจากสถิติการเกิดน้ำท่วม พบว่า ในบริเวณพื้นที่ที่ 27 ไม่เคยมีรายงาน การเกิดเหตุ น้ำท่วมบนทางหลวงขึ้น ดังนั้น จึงจะพิจารณาเลือกพื้นที่ที่มีความลาดชันที่นอกเหนือจาก 0-5% ในลำดับรองลงไป และมีการรายงานการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมทาง ซึ่งได้แก่ พื้นที่ที่ 7

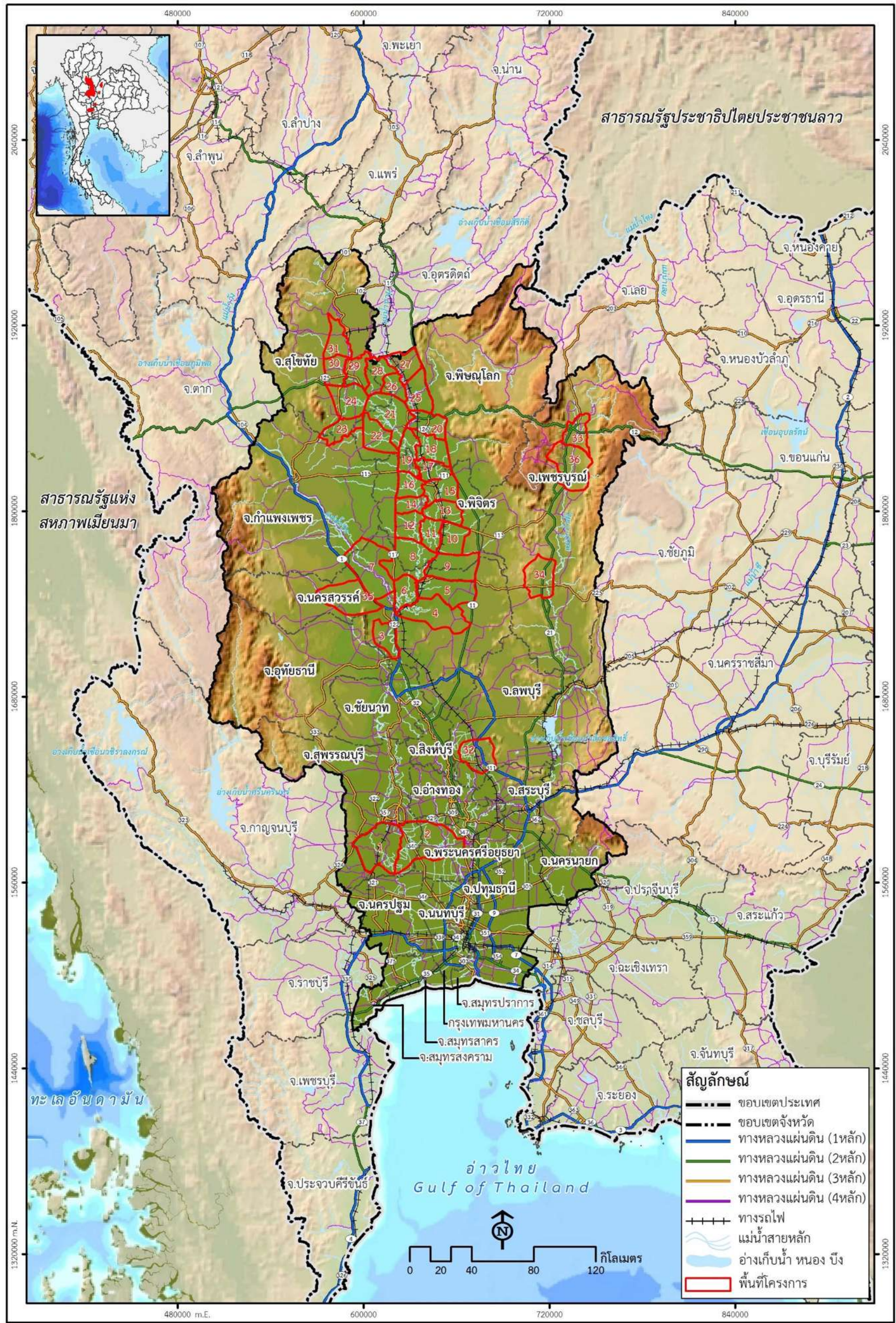
ตารางที่ 5.4-3 สัดส่วนของพื้นที่ตามค่าความลาดชัน

พื้นที่	สัดส่วนพื้นที่ (ร้อยละ)							
	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	20-25%	25-30%	30-35%	มากกว่า 35%
พื้นที่ที่ 1	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 2	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 3	98.47	0.71	0.21	0.22	0.07	0.10	0.10	0.14
พื้นที่ที่ 4	98.03	0.60	0.27	0.27	0.25	0.17	0.16	0.26
พื้นที่ที่ 5	99.58	0.39	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 6	97.92	1.39	0.34	0.12	0.11	0.05	0.05	0.03
พื้นที่ที่ 7	97.71	0.87	0.47	0.26	0.19	0.14	0.13	0.23
พื้นที่ที่ 8	99.71	0.22	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 9	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 10	99.98	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 11	99.97	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 12	99.99	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 13	99.31	0.39	0.09	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
พื้นที่ที่ 14	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 15	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 16	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



ตารางที่ 5.4-3 (ต่อ) สัดส่วนของพื้นที่ตามค่าความลาดชัน

พื้นที่	สัดส่วนพื้นที่ (ร้อยละ)							
	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	20-25%	25-30%	30-35%	มากกว่า 35%
พื้นที่ที่ 17	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 18	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 19	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 20	99.94	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 21	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 22	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 23	99.60	0.20	0.09	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 24	99.34	0.60	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 25	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 26	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 27	95.29	3.66	0.32	0.22	0.20	0.15	0.13	0.04
พื้นที่ที่ 28	99.55	0.36	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 29	99.98	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 30	97.76	1.32	0.57	0.28	0.06	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 31	96.57	2.47	0.67	0.19	0.07	0.02	0.00	0.00
พื้นที่ที่ 32	86.84	4.66	1.46	0.99	0.84	0.82	0.78	3.61
พื้นที่ที่ 33	94.21	4.50	0.68	0.26	0.12	0.03	0.03	0.18
พื้นที่ที่ 34	76.95	8.45	4.48	3.09	2.07	1.48	1.04	2.44
พื้นที่ที่ 35	94.85	1.86	0.54	0.40	0.35	0.42	0.41	1.17
พื้นที่ที่ 36	77.79	6.69	3.10	2.51	2.16	1.95	1.65	4.13



รูปที่ 5.4-3 ลักษณะภูมิประเทศในบริเวณขอบเขตพื้นที่ศึกษาทั้ง 36 พื้นที่



5.4.4. การคัดเลือกพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ข้อมูลกลุ่มชุดดิน

จากข้อมูลกลุ่มชุดดินตามตารางที่ 5.4-4 จะเห็นได้ว่า พื้นที่โดยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มชุดดินของพื้นที่ลุ่ม ดังนั้นจึงต้องทำการคัดเลือกตัวแทนของกลุ่มชุดดินของพื้นที่ดอน ซึ่งมีลักษณะการระบายน้ำที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจากตารางที่ 5.4-4 พบว่า พื้นที่ที่มีสัดส่วนของกลุ่มชุดดินในที่ดอนมากที่สุด 2 อันดับแรกได้แก่ พื้นที่ที่ 23 และพื้นที่ที่ 31 คือ มีสัดส่วนของกลุ่มชุดดินในที่ดอนประมาณร้อยละ 44.48 และ 34.41 และ 27.97 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ที่ 31 ได้ ถูกคัดเลือกแล้ว ตามหลักเกณฑ์ความลาดชันของพื้นที่ ดังนั้นจึงเลือกเฉพาะพื้นที่ที่ 23 ดังกล่าวเป็นตัวแทนของกลุ่มชุดดินในพื้นที่ดอน

ตารางที่ 5.4-4 สัดส่วนของพื้นที่ตามกลุ่มชุดดิน

พื้นที่	สัดส่วนพื้นที่ (ร้อยละ)	
	กลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่ม	กลุ่มชุดดินในที่ดอน
พื้นที่ที่ 1	96.06	3.94
พื้นที่ที่ 2	99.72	0.28
พื้นที่ที่ 3	99.98	0.02
พื้นที่ที่ 4	100.00	0.00
พื้นที่ที่ 5	100.00	0.00
พื้นที่ที่ 6	96.11	3.89
พื้นที่ที่ 7	90.00	10.00
พื้นที่ที่ 8	85.03	14.97
พื้นที่ที่ 9	99.75	0.25
พื้นที่ที่ 10	95.72	4.28
พื้นที่ที่ 11	72.03	27.97
พื้นที่ที่ 12	86.78	13.22
พื้นที่ที่ 13	74.98	25.02
พื้นที่ที่ 14	91.30	8.70
พื้นที่ที่ 15	85.59	14.41
พื้นที่ที่ 16	94.17	5.83
พื้นที่ที่ 17	84.86	15.14
พื้นที่ที่ 18	90.02	9.98

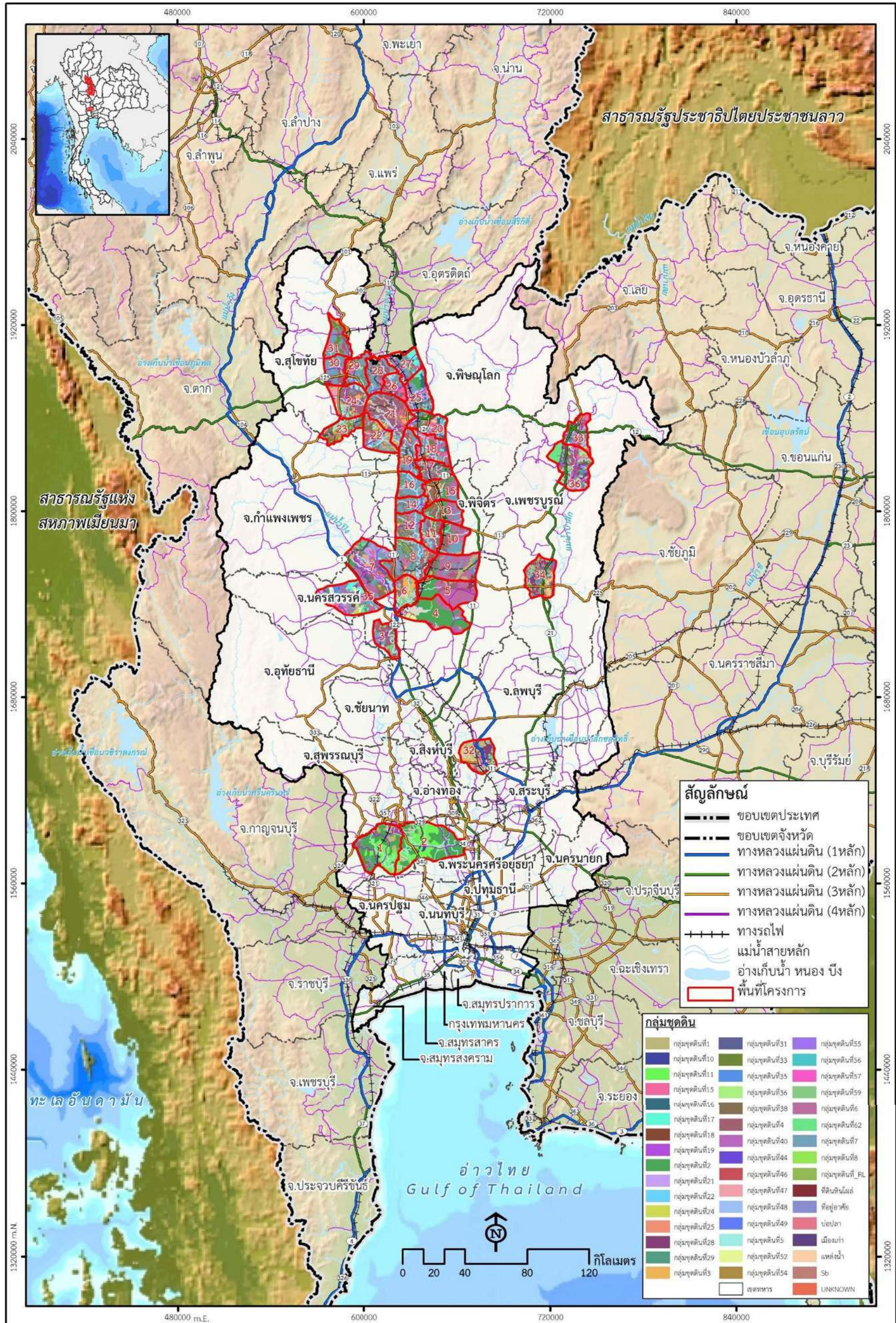


ตารางที่ 5.4-4(ต่อ) สัดส่วนของพื้นที่ตามกลุ่มชุดดิน

พื้นที่	สัดส่วนพื้นที่ (ร้อยละ)	
	กลุ่มชุดดินในพื้นที่ลุ่ม	กลุ่มชุดดินในที่ดอน
พื้นที่ที่ 19	83.05	16.95
พื้นที่ที่ 20	88.62	11.38
พื้นที่ที่ 21	94.45	5.55
พื้นที่ที่ 22	85.49	14.51
พื้นที่ที่ 23	55.12	44.88
พื้นที่ที่ 24	92.80	7.20
พื้นที่ที่ 25	86.57	13.43
พื้นที่ที่ 26	97.45	2.55
พื้นที่ที่ 27	84.17	15.83
พื้นที่ที่ 28	94.80	5.20
พื้นที่ที่ 29	77.91	22.09
พื้นที่ที่ 30	94.16	5.84
พื้นที่ที่ 31	65.59	34.41
พื้นที่ที่ 32	100.00	0.00
พื้นที่ที่ 33	96.35	3.65
พื้นที่ที่ 34	99.87	0.13
พื้นที่ที่ 35	98.24	1.76
พื้นที่ที่ 36	96.78	3.22

หมายเหตุ กลุ่มชุดดินในที่ลุ่ม ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 1-25 และ 57-59

กลุ่มชุดดินในที่ดอน ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26-56 และ 60-62



รูปที่ 5.4-4 ข้อมูลกลุ่มชุดดินในบริเวณขอบเขตพื้นที่ศึกษาทั้ง 36 พื้นที่



5.4.5. สรุปผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง

จากการคัดเลือกพื้นที่ที่เป็นตัวแทนตามหลักเกณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้นทั้ง 4 หลักเกณฑ์ สามารถสรุปผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่องได้ดังนี้

- 1) พื้นที่ที่ 6 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.ชุมแสง และ อ.เมือง จ.นครสวรรค์)
- 2) พื้นที่ที่ 7 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.บรรพตพิสัย จ.นครสวรรค์)
- 3) พื้นที่ที่ 19 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก และ อ.สามง่าม จ.พิจิตร)
- 4) พื้นที่ที่ 20 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.วังทอง จ.พิษณุโลก)
- 5) พื้นที่ที่ 23 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย)
- 6) พื้นที่ที่ 31 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย)
- 7) พื้นที่ที่ 32 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.เมือง จ.ลพบุรี)
- 8) พื้นที่ที่ 33 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์)
- 9) พื้นที่ที่ 34 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.บึงสามพัน และ อ.หนองไผ่ จ.เพชรบูรณ์)
- 10) พื้นที่ที่ 35 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.ลาดยาว จ.นครสวรรค์)
- 11) พื้นที่ที่ 36 (พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ใน อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์)

ทั้งนี้ขอบเขตและตำแหน่งของพื้นที่ศึกษานำร่องที่คัดเลือก แสดงได้ดังรูปที่ 5.4-5 และแต่ละพื้นที่มีถนนทางหลวงที่ผ่าน สรุปได้ดังตารางที่ 5.4-5



ตารางที่ 5.4-5 สรุปถนนทางหลวงที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่ศึกษานำร่อง

พื้นที่	หมายเลขทางหลวงในพื้นที่	พื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอที่ตั้งในขอบเขตพื้นที่ศึกษา
พื้นที่ 6	1 / 117 / 225 / 1084 / 1182 / 3475 / 3253	อ.ชุมแสง และ อ.เมือง จ.นครสวรรค์
พื้นที่ 7	1 / 117 / 1073 / 1074 / 1083 / 1084 / 1112 / 1182 / 3491	อ.บรรพตพิสัย จ.นครสวรรค์
พื้นที่ 19	115 / 117 / 126 / 1063 / 1281 / 1312	อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก และ อ.สามง่าม จ.พิจิตร
พื้นที่ 20	11 / 12 / 117 / 126 / 1058 / 1063 / 1064 / 1065	อ.วังทอง จ.พิษณุโลก
พื้นที่ 23	101 / 1065 / 1293 / 1303 / 1311	อ.คีรีมาศ จ.สุโขทัย
พื้นที่ 31	101 / 1048 / 1056 / 1113 / 1195 / 1201 / 1294	อ.สวรรคโลก จ.สุโขทัย
พื้นที่ 32	1 / 301 / 311 / 3016 / 3017 / 3019 / 3024 / 3196	อ.เมือง จ.ลพบุรี
พื้นที่ 33	12 / 21 / 2008 / 2209 / 2181 / 2215 / 2275 / 2278 / 2302 / 2372	อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์
พื้นที่ 34	21 / 225 / 2401 / 3004	อ.บึงสามพัน และ อ.หนองไผ่ จ.เพชรบูรณ์
พื้นที่ 35	1 / 1072 / 3013 / 3473	อ.ลาดยาว จ.นครสวรรค์
พื้นที่ 36	21 / 2006 / 2215 / 2258 / 2271 / 2275 / 2302 / 2326 / 2385 / 2402	อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์



รูปที่ 5.4-5 ขอบเขตของพื้นที่ศึกษานำร่องที่ได้ทำการคัดเลือก 11 พื้นที่



บทที่ 6

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

6. การสำรวจและการรวบรวมข้อมูล

6.1. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลด้านอุทกวิทยา

จากผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่องทั้ง 11 พื้นที่ พบว่า กระจายตัวอยู่ในพื้นที่ของจังหวัดต่างๆ 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ และลพบุรี หรือหากพิจารณาในลักษณะตามการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำ พบว่า กระจายตัวอยู่ใน 4 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำ่าน ลุ่มน้ำป่าสัก และลุ่มน้ำเจ้าพระยา ดังนั้นในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาจึงจะพิจารณาทั้งในลักษณะของพื้นที่รายจังหวัดและพื้นที่รายลุ่มน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1.1. ข้อมูลฝน

ที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีต่างๆ ของกรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษานำร่อง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 7 จังหวัด จำนวนทั้งสิ้น 79 สถานี และสามารถนำมาสรุปเป็นข้อมูลฝนรายเดือนและรายปีได้ ดังแสดงในตารางที่ 6.1-1 โดยพบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของทั้ง 7 จังหวัด มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 887.8 มิลลิเมตร ถึง 1,692.6 มิลลิเมตร. โดยสถานีที่มีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สถานี 39202 ภูเมี่ยง ภูทอง อำเภอชาติตระการ จังหวัดพิษณุโลก สถานี 38092 แคมป์สน อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ และสถานี 38062 บ้านนายจูด จังหวัดเพชรบูรณ์ ตามลำดับ



ตารางที่ 6.1-1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	จำนวนปีข้อมูล	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)												ฝนเฉลี่ยรายปี (มม.)
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดลพบุรี																
1	19022	อำเภอท่าม่วง	41	52.5	147.5	119.2	155.6	154.1	287.0	151.8	32.7	6.8	6.7	14.1	28.2	1,156.1
2	19032	อำเภอบ้านหมี่	44	53.4	120.9	95.4	129.0	133.1	218.6	128.7	24.5	6.7	7.6	11.9	30.1	959.7
3	19042	อำเภอโคกสำโรง	42	72.5	135.9	93.9	128.8	146.9	226.1	122.7	24.8	4.6	10.4	13.3	33.7	1,013.5
4	19052	อำเภอชัยบาดาล	42	103.7	177.3	123.0	126.6	195.3	273.4	156.8	19.2	2.0	5.5	15.8	59.8	1,258.4
5	19092	อำเภอพัฒนานิคม	28	67.2	137.9	105.6	104.5	140.7	224.0	129.2	33.4	2.2	6.3	14.2	37.6	1,002.8
6	19113	บัวชุม	30	90.9	134.4	115.6	118.9	175.3	273.0	125.5	17.9	3.5	5.0	12.1	41.0	1,113.0
7	19342	สถานีอุตุนิยมวิทยาชัยบาดาล	23	61.6	123.9	99.7	101.4	150.5	211.3	104.2	12.7	3.9	3.2	8.9	28.8	910.1
8	19351	บ้านท่าเยี่ยม (S.13) อ.ชัยบาดาล	21	76.7	153.2	132.8	157.3	171.5	232.2	142.9	20.9	1.2	8.1	12.6	27.4	1,136.8
9	19361	บ้านท่ารวก (S.14) อ.ชัยบาดาล	12	73.1	140.3	116.7	135.3	204.8	209.5	149.9	27.6	1.4	9.2	1.6	50.8	1,120.2
จังหวัดกำแพงเพชร																
10	12012	อ.เมืองกำแพงเพชร	48	43.6	148.3	138.7	122.3	164.0	239.1	160.1	25.2	2.1	3.7	15.2	17.6	1,080.0
11	12032	อ.พรานกระต่าย	50	51.3	180.6	152.0	141.6	207.0	260.3	161.9	33.9	5.9	5.4	14.8	26.1	1,240.9
12	12042	อ.ชาลนบุรี	49	57.3	175.6	157.9	148.2	170.4	264.8	165.2	36.8	3.0	6.5	18.6	33.2	1,237.4
13	12052	นิคมสร้างตนเองทุ่งโพทะเล	36	40.8	171.0	140.5	171.3	186.8	266.1	165.0	30.1	6.8	8.2	12.5	35.5	1,234.5
14	12102	อ.ไตรยางม	22	29.3	159.8	107.6	129.7	175.8	187.8	153.6	24.4	4.8	2.9	9.8	28.6	1,014.0
15	12142	อ.ลานกระบือ	16	51.4	192.1	140.3	149.4	189.2	245.0	157.4	36.7	5.1	1.8	12.3	42.2	1,222.9



ตารางที่ 6.1-1 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	จำนวนปีข้อมูล	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)												ฝนเฉลี่ยรายปี (มม.)
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดพิษณุโลก																
16	39013	อ.เมือง	53	50.2	186.5	170.9	191.6	252.0	245.2	145.9	29.0	8.0	5.8	12.1	32.3	1,329.5
17	39022	อ.บางระกำ	53	36.0	142.2	135.0	158.3	185.2	199.5	112.9	23.2	3.9	4.8	6.2	24.6	1,031.8
18	39032	อ.วังทอง	52	56.6	177.8	179.2	198.3	243.8	259.3	129.6	30.7	5.2	8.1	14.9	31.3	1,334.8
19	39042	อ.นครไทย	52	76.3	172.4	180.2	209.7	258.7	235.3	85.3	9.3	4.8	6.1	19.7	39.7	1,297.5
20	39052	อ.พรหมพิราม	48	43.2	158.2	153.0	163.4	238.5	222.4	119.4	18.4	4.3	6.2	7.1	20.3	1,154.4
21	39062	อ.บางกระทุ่ม	50	53.3	175.8	164.9	176.4	241.2	256.9	128.0	26.2	2.2	6.6	11.4	30.7	1,273.6
22	39072	อ.วัดโบสถ์	53	61.7	196.5	179.0	195.2	264.0	274.1	140.9	30.9	6.2	7.5	13.7	23.6	1,393.3
23	39082	สถานีทดลองเกษตร พิษณุโลก	51	64.8	168.1	175.9	205.4	256.8	266.0	132.8	32.7	4.5	10.3	18.3	36.4	1,372.0
24	39091	บ้านยาง (N.22) อ.วัดโบสถ์	52	43.9	181.9	189.3	203.1	247.6	289.1	116.9	20.2	4.7	7.6	14.7	18.0	1,337.0
25	39101	วังนกแอ่น (N.24) อ.วังทอง	46	59.0	195.6	187.8	192.2	253.3	256.9	119.1	27.4	4.2	6.1	14.6	33.7	1,349.9
26	39132	แปลงปลูกป่าเขากระยาง	30	77.7	195.2	186.0	190.1	238.9	247.3	153.2	25.4	10.0	7.2	19.7	38.6	1,389.3
27	39142	อ.ชาติตระการ	50	77.1	218.7	203.8	208.1	296.2	303.0	112.8	22.9	3.9	5.5	13.6	31.7	1,497.3
28	39151	สถานี N.5A, อ.เมือง	46	48.4	165.6	165.2	189.1	246.2	237.2	151.2	33.5	7.7	3.8	11.3	27.2	1,286.4
29	39161	บ้านหนองบอน (N.40)	50	64.2	209.6	213.3	217	253.2	250.5	157.6	31.2	4.2	3.7	8.8	22.8	1,436.1
30	39175	บ้านโป่งบอน อ.วังทอง	50	62	209.1	181.4	187	248	260.8	142.2	36.8	9.5	4	13.2	39.6	1,393.6
31	39180	เขื่อนนครสวรรค์ อ.พรหมพิราม	43	46.9	154.3	146.3	131.8	221.7	193.9	134.4	29	2.5	2.8	11.3	8.1	1,083.0
32	39191	สำนักงานชลประทานที่ 3	30	25.4	59.5	90.8	183.8	301.1	248	73.8	0	20.8	0	0.9	63.9	1,068.0



ตารางที่ 6.1-1 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	จำนวน ปี ข้อมูล	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)												ฝนเฉลี่ย รายปี (มม.)
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดพิษณุโลก (ต่อ)																
33	39202	ภูเมี่ยง ภูทอง อ.ชาติตระการ	36	80.9	219.3	226.8	297.6	342.8	348.5	105.7	22.8	1.3	2.8	9.3	34.8	1,692.6
34	39210	สถานีวิจัยชลประทานพิษณุโลก	23	36.1	227.7	139.6	130.2	244.9	182.9	89.3	14	8.9	3.1	9.2	22.3	1,108.2
35	091401	บ้านแก่งบัวคำ	30	83.6	203.8	189.6	209.6	236.2	242.5	99.4	23.9	4	10.8	18.1	37.6	1,359.1
36	091603	บ้านเข็กใหญ่	20	91.9	191.5	164.6	193.7	253.4	280.8	140.8	24.1	5.3	7.1	19.7	41.8	1,414.7
จังหวัดสุโขทัย																
37	59012	อ.เมืองสุโขทัย	53	38.88	157.65	137.75	123.75	167.71	233.55	133.03	26.41	2.69	5.03	6.35	14.58	1,080.04
38	59022	อ.ศรีสัชนาลัย	53	39.15	130.98	117.11	103.32	168.29	211.79	98.81	15.11	2.74	4.46	8.39	14.08	1,047.38
39	59032	อ.สวรรคโลก	50	43.14	152.59	126.57	118.66	155.19	210.18	125.21	20.88	3.44	4.21	7.23	18.03	914.23
40	59042	อ.กงไกรลาศ	53	50.83	164.91	146.32	147.95	208.60	243.45	143.09	26.38	3.30	5.50	14.72	20.48	985.33
41	59052	สถานีอากาศการเกษตรท่าชัย	39	44.92	175.29	141.25	150.32	195.19	243.35	163.34	23.62	4.50	4.82	9.21	11.65	1,175.53
42	59062	อ.บ้านด่านลานหอย	47	51.41	192.11	140.31	149.44	189.22	244.99	157.40	36.68	5.11	1.75	12.31	42.19	1,167.46
43	59073	สถานีอากาศการเกษตรศรีสำโรง	45	44.85	199.53	140.50	139.03	198.22	255.17	153.01	27.16	9.11	4.41	7.20	23.13	1,222.92
44	59082	อ.คีรีมาศ	50	56.14	187.91	156.35	142.53	195.41	260.93	158.05	29.44	5.74	6.69	11.18	22.80	1,201.32
45	59092	อ.ทุ่งเสลี่ยม	51	55.13	185.54	121.72	111.81	156.38	257.27	130.28	29.28	1.54	4.74	6.68	22.81	1,233.17
46	59121	แก่งหลวง (Y.6) อ.ศรีสัชนาลัย	53	46.43	180.42	136.24	137.03	175.88	238.78	130.86	29.22	5.82	4.30	8.00	20.92	1,083.18
47	59162	อ.ศรีนคร	40	41.03	169.06	133.87	147.33	152.76	205.02	99.04	14.09	6.88	1.59	2.88	10.40	1,113.90



ตารางที่ 6.1-1 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	จำนวนปีข้อมูล	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)												ฝนเฉลี่ยรายปี (มม.)
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดพิจิตร																
48	38012	อ.เมือง	50	55.5	153.4	167.2	187.5	259.3	293.4	133.1	23.5	4.9	4.6	15.2	20.6	1,318.2
49	38022	อ.บางมูลนาก	50	47.1	151.8	118.5	131.7	160.2	240.2	119.3	23.2	1.7	2.5	5.5	22.4	1,024.1
50	38032	อ.โพทะเล	51	59.8	142.7	118.6	146.3	184.7	234.8	128.4	13.5	2.4	8.9	9.5	21.9	1,071.5
51	38042	อ.ตะพานหิน	50	54.1	160.9	144.9	160.5	217	255.8	113.5	26.7	5.4	6.5	16.9	26.8	1,189.0
52	38052	อ.สามง่าม	40	51.6	164.2	133.2	157.4	218.9	237.9	133.2	18.7	2.6	6.5	7.1	20.4	1,151.7
53	38062	อ.โพธิ์ประทับช้าง	50	32.1	147.5	110.2	125.7	181.3	221.6	118.5	25.6	1.1	0.6	7.1	22.3	993.6
54	38072	อ.วังทรายพูน	52	62.1	161	149.5	173.2	235.1	232.5	109.5	29.2	6.9	3.2	9.2	38.7	1,210.1
55	38082	โรงเรียนเขาทราย อ.ทับคล้อ	52	73.1	135.3	130.9	125.9	189.1	197.7	133.9	24	4.3	2.7	13.4	28.5	1,058.8
56	38092	สถานีอากาศเกษตรพิจิตร.	52	56.6	259	180.6	146.9	220.6	211	109.6	20.8	0.7	13.1	14.7	25.9	1,259.5
57	38102	สถานีวิจัยอ้อย พิจิตร	40	52.5	144.4	134.1	151.1	200.5	272.8	131.8	17.6	3	3.8	10.9	13.7	1,136.2
จังหวัดนครสวรรค์																
58	26013	อ.เมือง	50	62.6	140.6	121.9	135.7	176.8	233.4	136.8	26.0	5.7	6.8	13.7	32.3	1,092.3
59	26022	อ.ชุมแสง	50	61.4	135.0	107.2	133.5	163.8	260.6	137.9	23.1	2.0	4.9	10.1	28.7	1,068.2
60	26032	อ.ท่าตะโก	50	68.3	136.0	134.1	137.0	168.3	218.3	127.1	21.5	6.0	7.8	16.7	40.6	1,081.7
61	26042	อ.โกรกพระ	50	58.4	132.5	108.4	121.5	176.8	239.1	136.9	28.3	2.6	6.2	10.8	26.9	1,048.4
62	26052	อ.พยุหะคีรี	40	55.1	127.2	108.8	122.4	160.3	233.6	151.7	27.6	2.1	5.2	8.0	22.3	1,024.3
63	26102	อ.หนองบัว	50	67.4	163.0	141.0	143.6	198.3	239.9	128.8	24.6	5.6	2.9	11.2	31.7	1,158.0



ตารางที่ 6.1-1 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	จำนวนปีข้อมูล	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม.)												ฝนเฉลี่ยรายปี (มม.)
				เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดนครสวรรค์ (ต่อ)																
64	26122	อ.ไพศาลี	50	68.3	148.5	125.1	128.2	178.0	220.3	122.0	17.7	2.5	5.9	6.7	38.9	1,062.1
65	26170	ปากคลองบ้านเหล็ก (CPA.1)	26	41.1	111.3	92.0	112.0	151.5	216.2	147.1	29.1	3.6	5.8	5.9	26.3	941.9
66	26190	ปากคลองส่งน้ำ 7R (CPK.6)	35	38.1	103.6	84.6	100.3	138.4	217.2	121.0	25.4	5.0	3.9	14.0	26.3	877.8
67	26200	ปากคลองส่งน้ำ 8R (CPK.7)	35	46.4	113.4	92.8	101.7	154.4	233.6	143.0	24.5	4.6	4.4	11.4	27.6	957.8
68	26210	ปากคลองส่งน้ำ 1R-9R (CPK.8)	30	38.0	119.8	77.4	114.3	157.8	225.0	139.0	19.6	5.2	3.8	12.5	28.0	940.4
69	26292	อ.เก้าเลี้ยว	42	59.2	161.4	120.7	132.4	150.2	266.4	155.4	24.0	3.9	4.1	4.4	29.8	1,111.9
จังหวัดเพชรบูรณ์																
70	38012	อำเภอเมือง	48	67.3	155.3	144.3	163.5	191.5	212.3	84.7	12.0	5.2	8.1	17.7	39.0	1,100.7
71	38022	อำเภอหล่มสัก	45	64.4	157.0	152.1	142.5	189.4	213.1	84.0	12.9	4.8	4.9	20.9	48.0	1,094.1
72	38032	อำเภอหล่มเก่า	41	56.1	131.5	127.2	152.0	209.9	222.1	86.6	8.1	4.8	5.0	18.5	44.6	1,066.5
73	38042	อำเภอวิเชียรบุรี	45	76.8	163.9	129.9	167.2	188.4	241.3	121.7	16.5	3.4	7.6	16.0	41.7	1,174.6
74	38052	อำเภอชนแดน	40	67.5	163.7	194.5	196.5	225.6	246.0	121.7	17.9	0.8	5.0	11.9	30.1	1,281.2
75	38062	บ้านนายจุน	14	96.2	198.3	213.8	213.6	275.8	316.2	92.8	13.0	3.7	2.8	25.2	67.2	1,518.6
76	38072	โรงเรียนโคกสะอาด อ.ศรีเทพ	31	95.1	131.5	122.7	128.5	172.8	242.7	101.9	21.1	5.0	4.4	11.7	36.6	1,074.1
77	38082	อำเภอหนองไผ่	29	71.4	173.2	157.9	164.1	232.0	226.1	113.8	15.1	3.2	4.0	12.5	45.8	1,219.1
78	38092	แคมป์สน อำเภอหล่มสัก	26	155.6	275.7	204.3	199.8	245.7	281.7	131.6	25.1	6.1	11.9	27.9	71.0	1,636.4
79	38102	ตำบลน้ำร้อน อำเภอวิเชียรบุรี	26	75.1	162.2	155.1	189.2	252.7	275.5	114.4	17.5	4.9	9.0	9.8	44.2	1,309.4



6.1.2. ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ในรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่าสำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องทั้ง 11 พื้นที่ ที่ปรึกษาได้รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันจากสถานีวัดน้ำท่าของกรมชลประทาน ซึ่งตั้งอยู่ในเขตจังหวัด ของพื้นที่ศึกษานำร่อง ทั้ง 7 จังหวัด จำนวนทั้งหมด 30 สถานี ซึ่งสามารถนำมาสรุปเป็นข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีได้ดังแสดงในตารางที่ 6.1-2



ตารางที่ 6.1-2 ข้อมูลปริมาณน้ำทำในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัส สถานี	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำ	จำนวน ปีข้อมูล	ปริมาณน้ำทำเฉลี่ยรายเดือน (ล้าน ลูกบาศก์เมตร)												เฉลี่ยราย ปี (ล้าน ลูกบาศก์ เมตร.)
					เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดลพบุรี																	
1	L.2	แม่น้ำลพบุรีที่บ้านโพธิ์งาม	เจ้าพระยา	12	3.5	12.8	53.7	78.8	247.1	565.2	1,440.4	1,109.0	269.4	18.6	6.1	4.3	3,809.1
2	L.2A	แม่น้ำลพบุรีที่ไซพอนลพบุรี	เจ้าพระยา	7	29.1	54.2	43.2	47.4	69.4	203.3	384.9	296.2	171.4	32.6	10.0	18.4	1,360.1
จังหวัดเพชรบูรณ์																	
3	S.4B	ป่าสักที่เพชรบูรณ์	ป่าสัก	16	18.54	24.31	43.58	46.40	94.36	162.02	94.49	38.59	34.68	23.29	16.77	18.63	615.66
4	S.6	ป่าสักที่บ้านห้วยไร่	ป่าสัก	5	3.71	6.09	10.81	13.92	41.91	87.64	40.19	8.84	5.22	4.03	2.69	2.43	227.48
5	SE.1	ป่าสักอุ้มกะหาด	ป่าสัก	8	1.29	4.71	10.56	11.01	26.81	34.95	17.41	6.43	3.91	2.48	1.59	1.46	122.60
6	SN.1	ป่าสักที่แก่งสีดา	ป่าสัก	17	1.21	5.34	14.84	21.83	52.18	77.92	28.38	8.28	4.17	2.87	1.69	1.31	220.02
7	SM.1	ป่าสักที่หล่มสัก	ป่าสัก	13	1.83	6.58	10.41	15.78	49.20	93.06	32.66	8.89	7.31	2.41	1.33	1.44	230.90
8	SM.2	ป่าสักที่วีเชียรบุรี	ป่าสัก	14	5.92	12.03	28.70	87.05	171.75	320.31	264.36	62.76	18.36	9.27	5.59	6.20	992.30
9	S.10	ห้วยน้ำพุที่บ้านหินหัว	ป่าสัก	14	1.31	5.09	8.30	5.64	9.96	19.56	10.26	3.43	2.00	1.11	0.85	0.97	68.48
10	S.12	ลำคลองที่บ้านวังท่าดี	ป่าสัก	20	1.99	7.31	9.05	9.77	20.99	34.90	18.63	5.67	3.29	2.27	1.45	1.41	116.72
11	S.15	ห้วยวังชมพูที่บ้านวังชมพู	ป่าสัก	9	0.23	0.50	0.72	0.67	0.89	1.61	0.81	0.69	0.29	0.30	0.19	0.15	7.04
12	S.16	ห้วยนาที่บ้านห้วยนา	ป่าสัก	11	0.34	1.68	1.92	2.03	3.30	4.85	1.73	0.81	0.76	0.23	0.19	0.23	18.08
13	S.17	ห้วยน้ำชันที่บ้านวังบอน	ป่าสัก	12	0.54	1.59	2.58	3.35	3.85	5.81	3.99	1.41	0.73	0.43	0.31	0.34	24.93



ตารางที่ 6.1-2 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำ	จำนวนปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน (ล้าน ลูกบาศก์เมตร)												เฉลี่ยรายปี (ล้าน ลูกบาศก์เมตร.)
					เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดกำแพงเพชร																	
14	P.7A*	แม่น้ำปิงที่บ้านห้วยยาง	ปิง	42	654.2	606.9	546.4	541.4	685.0	992.2	1,086.4	663.0	389.1	374.6	501.2	691.9	7,732.3
15	P.16*	แม่น้ำปิงที่خانวรลักษบุรี	ปิง	39	570.0	608.1	615.0	510.3	700.0	1,145.7	1,283.8	693.7	417.9	358.1	440.8	568.7	7,912.1
จังหวัดพิษณุโลก																	
16	N.5A	อ.เมือง พิษณุโลก	น่าน	16	479.4	533.9	554.3	647.1	1,161.9	1,480.5	814.0	459.5	361.9	275.7	360.3	477.2	7,605.7
17	N.27	อ.พรหมพิราม พิษณุโลก	น่าน	15	360.0	395.0	411.3	651.3	1,131.8	1,270.9	689.9	379.2	256.6	196.5	212.1	314.9	6,269.5
18	N.27A	อ.พรหมพิราม พิษณุโลก	น่าน	35	525.1	495.5	395.2	343.9	545.3	750.9	317.2	289.6	238.8	259.8	416.0	538.8	5,116.1
19	N.74	อ.บางกระทุ่ม พิษณุโลก	น่าน	20	819.0	702.8	517.4	780.5	2,258.7	2,797.0	1,589.9	804.3	688.7	718.8	760.9	909.3	13,347.3
จังหวัดพิจิตร																	
20	N.7	แม่น้ำน่านที่พิจิตร	น่าน	45	368.0	467.0	617.2	844.7	1,587.4	2,233.4	1,637.1	734.5	412.5	269.2	288.9	372.3	9,832.2
21	N.8	แม่น้ำน่านที่บางมูลนาก	น่าน	35	349.7	458.6	630.5	841.0	1,632.1	2,411.3	1,959.1	949.5	494.3	284.0	283.2	356.8	10,650.1



ตารางที่ 6.1-2 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำ	จำนวนปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน (ล้าน ลูกบาศก์เมตร)												เฉลี่ยรายปี (ล้าน ลูกบาศก์เมตร.)
					เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดพิจิตร (ต่อ)																	
22	N.10	แม่น้ำน่านที่ตะพานหิน	น่าน	46	105.0	210.7	493.5	904.6	2,047.9	2,998.5	1,977.9	753.4	363.1	187.5	119.3	121.6	10,283.0
23	N.10A	แม่น้ำน่านที่ตะพานหิน	น่าน	45	630.8	698.6	776.3	801.0	1,359.0	2,018.3	1,587.6	871.8	574.1	364.8	488.8	618.4	10,789.5
24	Y.5	อ.โพทะเล	ยม	42	35.57	91.02	162.63	153.88	305.12	818.56	1,025.96	468.05	173.16	68.06	24.41	21.60	3,348.0
25	Y.17	อ.สามง่าม	ยม	40	13.18	68.10	170.50	180.04	395.97	867.16	903.96	452.94	137.26	30.51	9.96	14.30	3,243.9
26	Y.40	บ้านบางไธ	ยม	28	13.90	241.55	353.50	307.90	353.90	595.35	680.55	688.50	414.10	18.60	16.55	79.80	3,764.2
จังหวัดนครสวรรค์																	
27	C2	นครสวรรค์	เจ้าพระยา	52	819.6	1,005.7	1,302.1	1,433.6	2,430.5	4,081.1	5,311.6	2,907.9	1,264.2	649.4	667.7	855.3	22,728.7
28	N.14	แม่น้ำน่านที่ชุมแสง	น่าน	16	89.4	180.3	370.9	651.8	1,524.1	2,520.5	2,304.0	967.6	311.1	148.6	101.6	103.9	9,273.8
29	N.14A	แม่น้ำน่านที่วัดหลวงโพธิ์แก้ว	น่าน	42	523.1	693.5	885.5	972.3	1,676.6	2,259.8	1,948.8	1,143.9	632.6	322.1	412.6	556.3	12,027.1
30	P.17	แม่น้ำปิงที่บรรพตพิสัย	ปิง	52	465.8	549.3	563.9	512.3	751.5	1,324.5	1,429.0	754.7	438.1	324.8	394.8	510.9	8,019.6



ตารางที่ 6.1-2 (ต่อ) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำ	จำนวนปีข้อมูล	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน (ล้าน ลูกบาศก์เมตร)												เฉลี่ยรายปี (ล้าน ลูกบาศก์เมตร)
					เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	
จังหวัดสุโขทัย																	
31	Y.6	แม่น้ำยมที่บ้านแก่งหลวง	ยม	52	479.4	533.9	554.3	647.1	1,161.9	1,480.5	814.0	459.5	361.9	275.7	360.3	477.2	7,605.7
32	Y.14	แม่น้ำยมที่บ้านดอนระเบียง	ยม	46	360.0	395.0	411.3	651.3	1,131.8	1,270.9	689.9	379.2	256.6	196.5	212.1	314.9	6,269.5
33	Y.17	แม่น้ำยมที่สามง่าม	ยม	44	525.1	495.5	395.2	343.9	545.3	750.9	317.2	289.6	238.8	259.8	416.0	538.8	5,116.1



6.1.3. ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน

ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการศึกษาด้านน้ำท่วมซึ่งข้อมูลนี้สามารถสร้างได้โดย อาศัยค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดฉบับล้นรายปีของแต่ละสถานีที่คัดเลือกได้ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่พิจารณากับขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนของแต่ละสถานี แล้วนำมาสร้างเป็นความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์แบบถดถอย เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้ในการหาค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ยที่จุดพิจารณาต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไป ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน จะอยู่ในรูปของสมการดังต่อไปนี้

$$Q_F = aA^b$$

ในเมื่อ Q_F = ปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
 A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตารางกิโลเมตร)
 a และ b = สัมประสิทธิ์ถดถอย

สำหรับในกรณีของพื้นที่ศึกษาทั้ง 11 พื้นที่ หากพิจารณาแล้ว พบว่า จะกระจายตัวอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำหลัก 4 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำป่าสัก ลุ่มน้ำยม และลุ่มน้ำน่าน ดังนั้นข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน ซึ่งจะนำมาใช้ในการศึกษาด้านน้ำท่วมที่ปรึกษาจะรวบรวมจากรายงานผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องของกรมชลประทาน และกรมทรัพยากรน้ำ ที่ได้ดำเนินการศึกษาไว้ในลุ่มน้ำเหล่านี้

จากผลการทบทวนสามารถแสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝนได้ ดังแสดงในตารางที่ 6.1-3

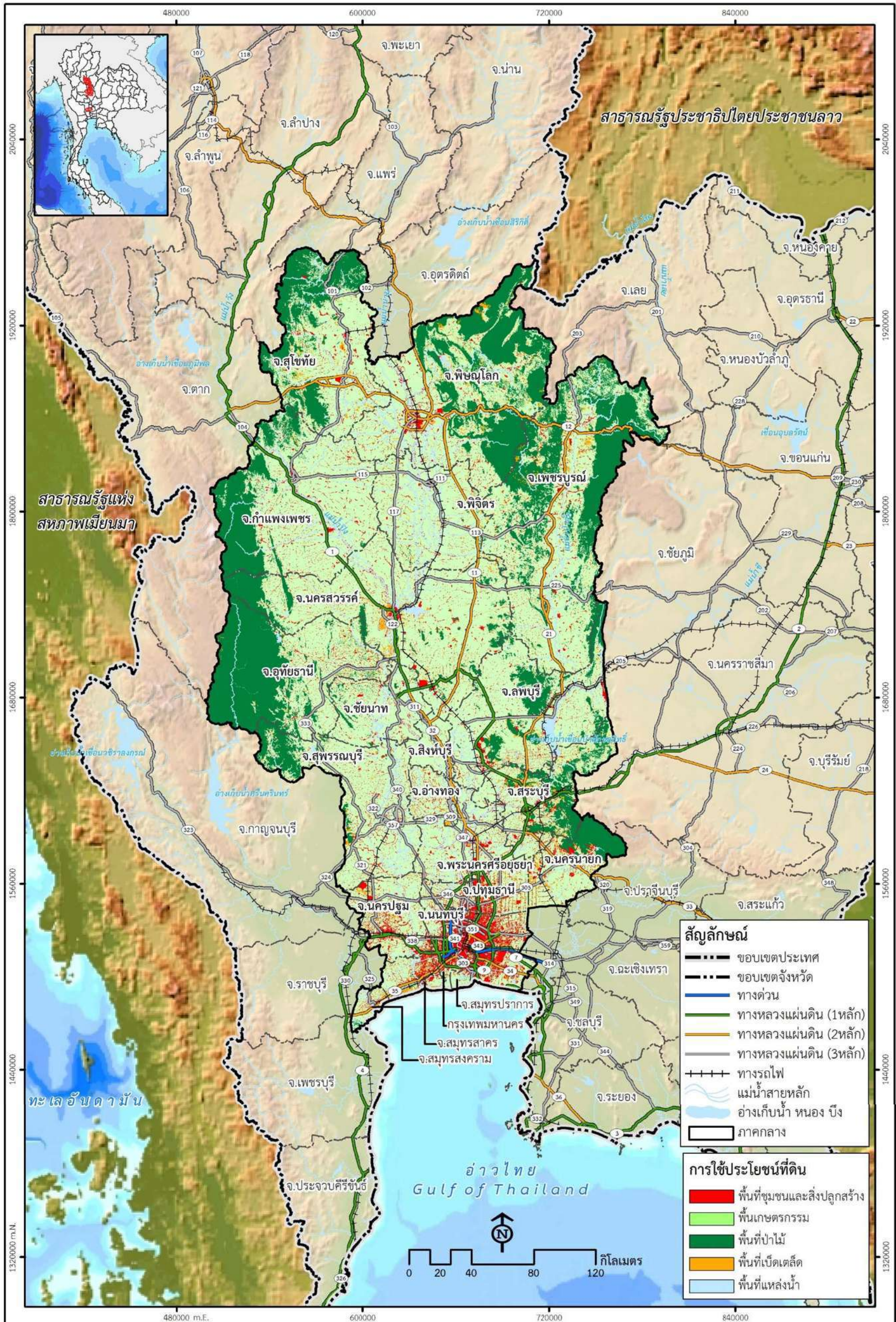
ตารางที่ 6.1-3 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝนของกลุ่มน้ำที่อยู่ในพื้นที่ศึกษานำร่องของโครงการ

ลุ่มน้ำ	สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน
เจ้าพระยา	$Q_F = 10.614A^{0.4378}$
ป่าสัก	$Q_F = 5.9737A^{0.4780}$
น่าน	$Q_F = 7.9168A^{0.4920}$
ยม	$Q_F = 6.0268A^{0.5214}$

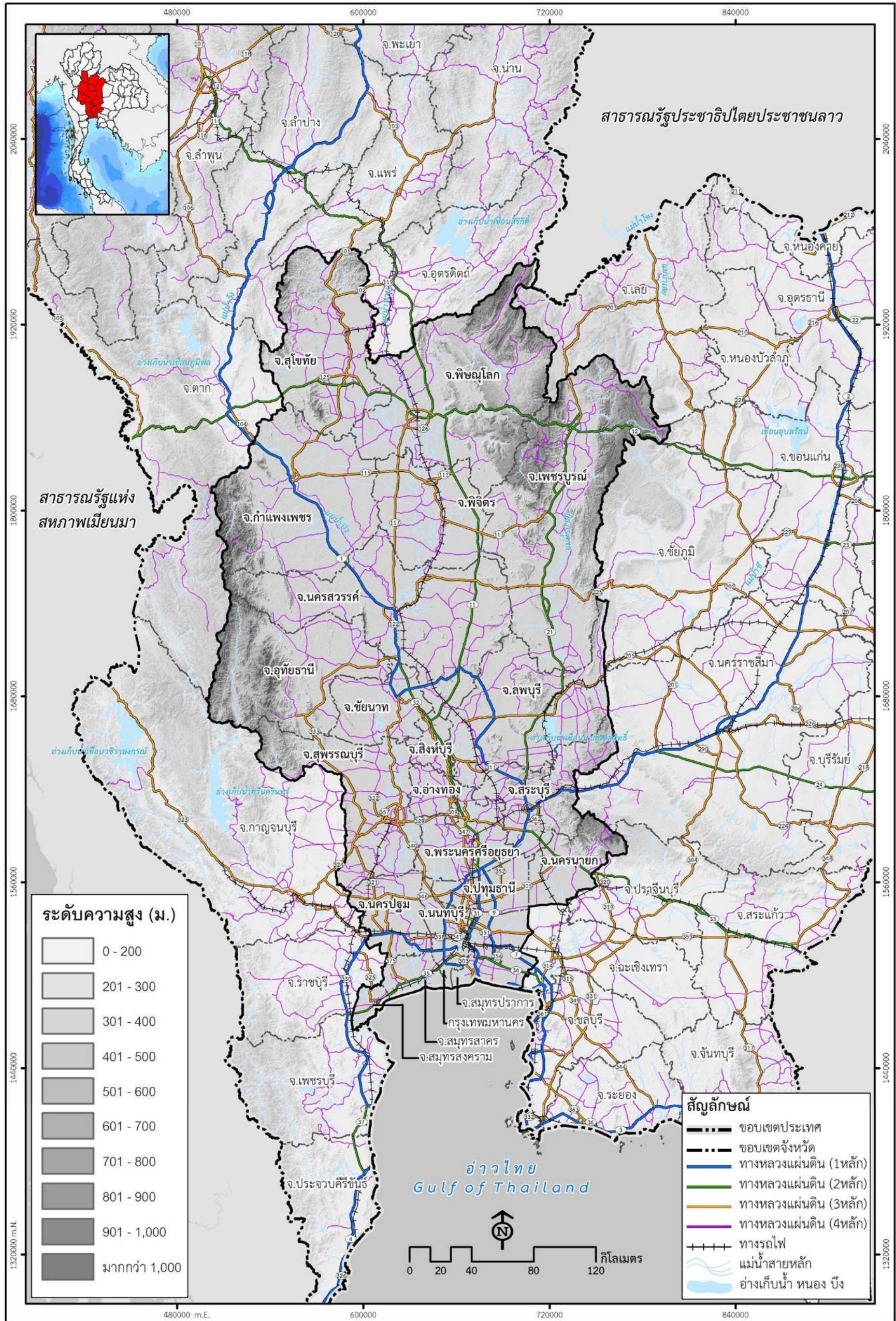


6.2. การจัดหาข้อมูลสภาพภูมิประเทศ

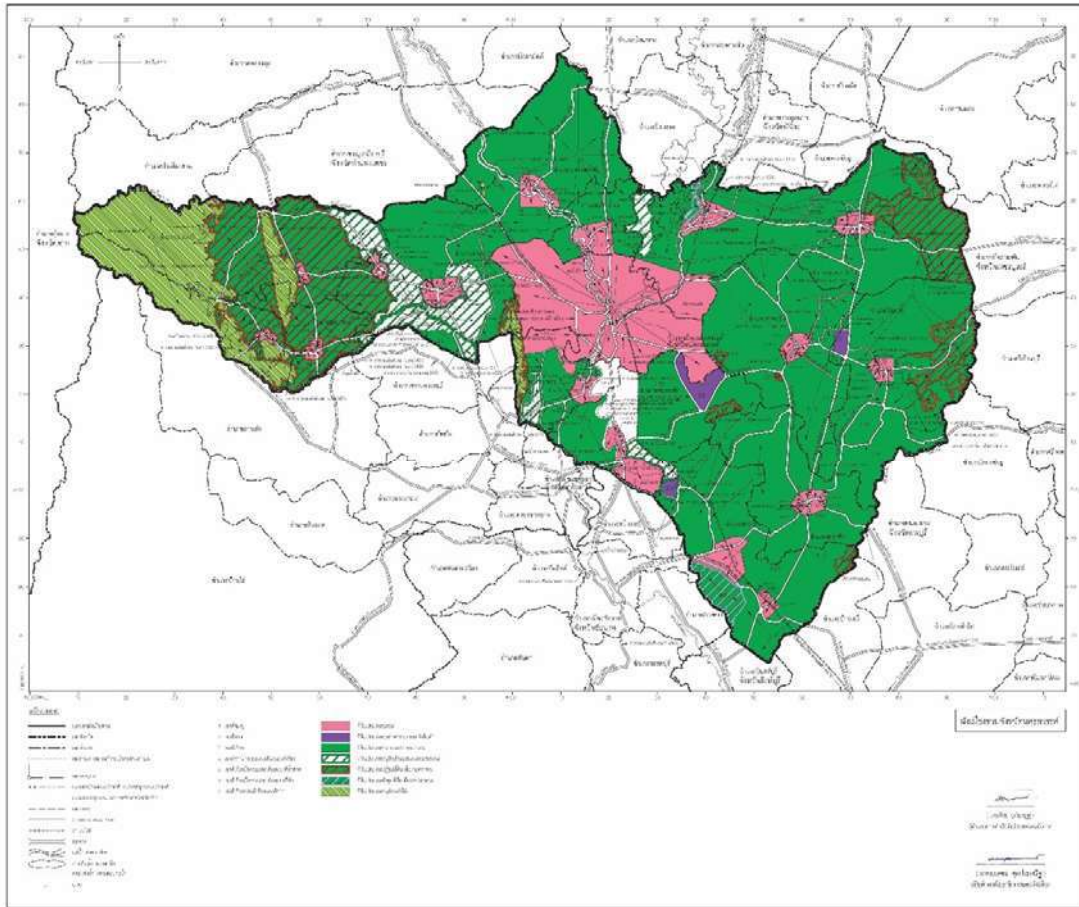
ในการจัดหาข้อมูลสภาพภูมิประเทศ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการศึกษาดูด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งได้ดำเนินการในรายงานฉบับนี้ ประกอบด้วย ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ และข้อมูลผังเมืองรายจังหวัด ได้ทำการรวบรวมครอบคลุมเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศทั้ง 22 จังหวัด โดยตัวอย่างของข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวม สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.2-1 ถึง รูปที่ 6.2-3



รูปที่ 6.2-1 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ภาคกลาง



รูปที่ 6.2-2 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ในพื้นที่ภาคกลาง



(ข) จังหวัดนครสวรรค์

รูปที่ 6.2-3 (ต่อ) ตัวอย่างของแผนที่ภาคผังเมืองในจังหวัดภาคกลาง

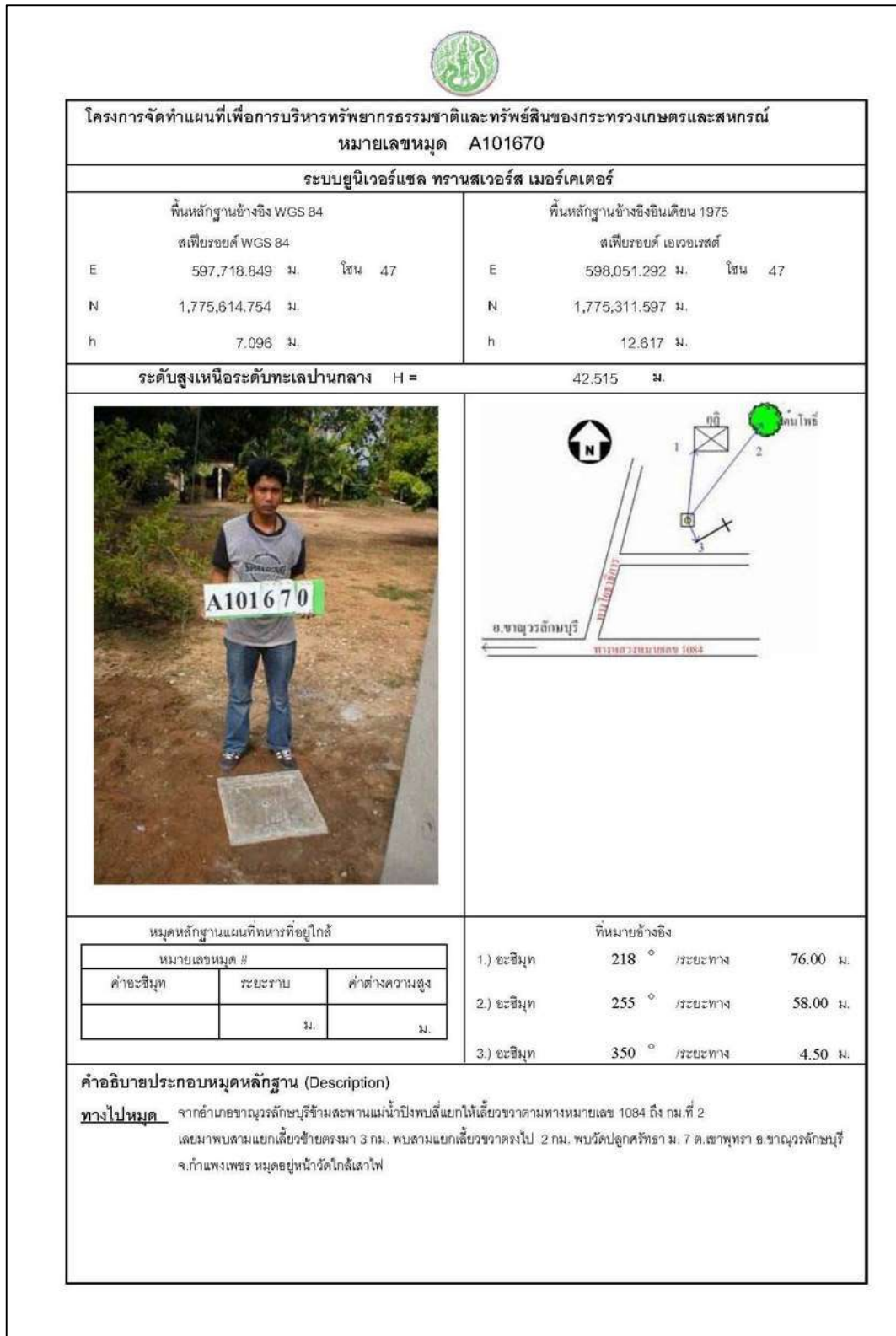


6.3. การสำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ

6.3.1. แนวทางการสำรวจข้อมูลรายละเอียดภูมิประเทศ

ในการสำรวจข้อมูลรายละเอียดภูมิประเทศมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้มาซึ่งข้อมูลระดับความสูงของถนนตลอดจนขนาดและมิติของอาคารระบายน้ำผ่านถนนบริเวณพื้นที่ศึกษาของโครงการ ซึ่งในขั้นตอนของการสำรวจมีหลักการและวิธีการดำเนินงาน ดังนี้ จัดหาและจัดทำข้อมูลแผนที่

- 1) สำรวจค่าระดับตามแนวถนน (ค่าระดับหลังถนนทุกสาย / ค่าระดับดินเดิมตามแนวถนนโครงการทุกระยะห่างไม่เกิน 100 เมตร) และพื้นที่ว่างครอบคลุมพื้นที่โครงการพร้อมทำรายงานตรวจสอบค่าระดับภาคสนาม
- 2) ดำเนินการสำรวจอาคารระบายน้ำผ่านถนน และหน้าตัดของลำคลองทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของอาคารระบายน้ำผ่านถนน ครอบคลุมพื้นที่โครงการ (รูปตัดขวาง / ค่าระดับ / ความลาดชัน / ระดับความสูงของน้ำในลำคลอง)
- 3) การสำรวจจะใช้วิธีการโยจโครงข่ายด้วย GPS ที่มีความละเอียดสูง อ้างอิงพิกัดทางราบ (Horizontal Datum) เป็นพิกัด WGS 84 (World Geodetic System 1984) และอ้างอิงพิกัดทางตั้ง (Vertical Datum) เป็นค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) โดยใช้หมุดหลักฐานอ้างอิง เป็นหมุดฐาน (Base) หรือหมุดออกงาน ในการรังวัดพิกัดดาวเทียม GPS แบบ RTK (Real Time Kinematic) หลังจากนั้นจะทำการเก็บรายละเอียดค่าระดับถนน ระบบระบายน้ำ และลำคลอง ในพื้นที่โครงการ ทั้งนี้หมุดอ้างอิงซึ่งให้เป็นหมุดออกงานในการสำรวจ ที่ปรึกษาได้ใช้หมุดอ้างอิงที่จัดทำขึ้นโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ดังแสดงตัวอย่างตามรูปที่ 6.3-1 และตำแหน่งหมุดอ้างอิงที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 6.3-2 ส่วนขั้นตอนการสำรวจข้อมูลภาคสนามด้วยวิธี RTK ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 6.3-3



รูปที่ 6.3-1 ตัวอย่างหมุดอ้างอิงในการสำรวจข้อมูลสภาพภูมิประเทศ