สารบัญ

หน้า

1. บทนำ 1-1

1.1. ที่มาโครงการ 1-1

1.2. วัตถุประสงค์โครงการ 1-2

1.3. ขอบเขตการดำเนินงาน 1-3

1.4. ระยะเวลาดำเนินงาน 1-6

2. การทบทวนวรรณกรรม 2-1

2.1. การทบทวนทฤษฎี/นิยามที่เกี่ยวข้อง 2-1

2.1.1. นิยามที่เกี่ยวข้อง 2-1

2.1.2. ทฤษฎีการระบายน้ำ 2-3

2.1.3. ทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 2-53

2.2. แนวคิด และวิธีการในการแก้ไขปัญหาการระบายน้ำบนทางหลวง ในประเทศและต่างประเทศ 2-64

2.2.1. Highway Design Manual (Chapter 8 Highway Drainage) ของหน่วยงาน Department of Transport New York State of Opportunity ประเทศสหรัฐอเมริกา 2-65

2.2.2. Manual of Road Drainage : Culvert Design ประเทศออสเตรเลีย 2-68

2.2.3. Integrated approach to determine highway flooding and critical points of drainage ประเทศเม็กซิโก 2-72

2.2.4. Highway flood disater risk evaluation and management in China ประเทศจีน 2-75

2.2.5. Guidelines on Flood Disater Mitigation for Highway Engineers ประเทศอินเดีย 2-84

2.2.6. การบริหารจัดการสถานการณ์ภัยพิบัติ กรมทางหลวงชนบท 2-92

2.2.7. คู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงาน มาตรฐานการระบายน้ำ กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย 2-95

2.3. การทบทวนแผนการบริหารจัดการอุทกภัยของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในบริเวณพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชรรวมถึงลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำยม 2-97

2.3.1. สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ 2-97

2.3.2. กรมชลประทาน 2-119

2.3.3. กรมโยธาธิการและผังเมือง 2-141

2.3.4. แนวทางการนำผลการศึกษาทบทวนมาปรับใช้ในการศึกษาของโครงการ 2-145

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4. การทบทวนแนวทางปฏิบัติและแผนงานในการจัดการอุทกภัยและแผนงานก่อสร้างของกรมทางหลวง ตลอดจนผลการศึกษาอื่นๆ ของกรมทางหลวงที่เกี่ยวข้อง 2-146
2.4.1. แนวทางปฏิบัติในการบริหารจัดการอุทกภัย 2-146
2.4.2. แผนงานก่อสร้างของกรมทางหลวง 2-155
2.4.3. ผลการศึกษาของกรมทางหลวงที่เกี่ยวข้อง 2-165

3. การคัดเลือกพื้นที่ศึกษาเพื่อปรับปรุงอาคารระบายน้ำ 3-1
3.1. การรวบรวมข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร จากฐานข้อมูลของกรมทางหลวงและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง 3-1
3.1.1. ข้อมูลแผนที่น้ำท่วมซ้ำซาก GISTDA 3-1
3.1.2. ข้อมูลตำแหน่งการเกิดอุทกภัยบนทางหลวง 3-5
3.2. การศึกษาลักษณะสภาพปัญหาของอุทกภัยที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา 3-15
3.2.1. พื้นที่แขวงทางหลวงกำแพงเพชร 3-17
3.2.2. พื้นที่แขวงทางหลวงตากที่ 1 3-31
3.2.3. พื้นที่แขวงทางหลวงสุโขทัย 3-34
3.3. ผลการกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการแก้ไขปัญหาการระบายน้ำ 3-42

4. การรวบรวมและสำรวจข้อมูล 4-1
4.1. การรวบรวมข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา 4-1
4.1.1. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ 4-1
4.1.2. ข้อมูลอุทกวิทยา 4-6
4.2. การรวบรวมข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ 4-16
4.2.1. ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน 4-16
4.2.2. ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ 4-25
4.2.3. ข้อมูลผังเมือง 4-29
4.3. การสำรวจภาคสนามของอาคารระบายน้ำ 4-33
4.3.1. ข้อมูลอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Cross Drain) 4-33
4.3.2. ข้อมูลระบบระบายน้ำแบบตามยาว (Longitudinal Drain) 4-38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5. การวิเคราะห์แนวทางการแก้ไขปัญหาอุทกภัยด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ 5-1

5.1. การวิเคราะห์การไหลของน้ำอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Cross Drain) 5-1

5.1.1. แบบจำลองที่นำมาใช้ในพื้นที่ศึกษา 5-2

5.1.2. แบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า 5-15

5.1.3. แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ 5-19

5.1.4. การปรับเทียบแบบจำลอง 5-31

5.2. การวิเคราะห์การไหลระบบระบายน้ำแบบตามยาว (Longitudinal Drain) 5-48

5.2.1. แบบจำลองที่นำมาใช้ในพื้นที่ศึกษา 5-48

5.2.2. การนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง 5-51

5.2.3. การปรับเทียบแบบจำลอง 5-76

5.3. แนวทางการปรับปรุงระบบระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา 5-86

5.3.1. อาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Cross Drain) 5-86

5.3.2. ระบบระบายน้ำแบบตามยาว 5-113

6. การสำรวจและออกแบบรายละเอียดเพื่อปรับปรุงอาคารระบายน้ำ 6-1

6.1. การกำหนดพื้นที่เพื่อสำรวจและออกแบบรายละเอียด 6-1

6.2. การสำรวจเพื่อออกแบบรายละเอียด 6-6

6.3. การออกแบบรายละเอียด 6-10

6.4. การจัดทำบัญชีปริมาณงานและราคาค่าก่อสร้างอาคารระบายน้ำ 6-25

7. การสัมมนาและถ่ายทอดองค์ความรู้ 7-1

7.1. แผนการสัมมนาและถ่ายทอดองค์ความรู้ 7-1

7.2. ผลการจัดสัมมนาและถ่ายทอดองค์ความรู้ 7-4

8. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 8-1

8.1. สรุปผลการศึกษา 8-1

8.2. ข้อเสนอแนะ 8-3

บทที่ 1
บทนำ

1. บทนำ

1.1. ที่มาโครงการ

ปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากภัยพิบัติเป็นประจำทุกปี ซึ่งภัยพิบัติที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งได้ทวีความรุนแรงและได้สร้างความเสียหายมากยิ่งขึ้นตามลำดับ โดยเฉพาะภัยพิบัติที่เกิดจากอุทกภัย สาเหตุหลักส่วนหนึ่งของปัญหาเป็นผลมาจากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม การขยายตัวของชุมชนเมือง ตลอดจนการเพิ่มจำนวนของประชากร ทำให้เกิดการรุกล้ำทางน้ำ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ดังนั้นเมื่อเกิดฝนตกหนักต่อเนื่อง จึงเกิดปัญหาน้ำท่วมขังผิวทาง และการคมนาคมถูกตัดขาด สร้างความเสียหายและเดือดร้อนต่อประชาชนเป็นอย่างมาก

จากสถิติข้อมูลการรายงานสถานการณ์ปัญหาภัยพิบัติ ของระบบบริหารงานภัยพิบัติและสถานการณ์ฉุกเฉิน (Emergency Management System : EMS) ของสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง ตลอดช่วงเวลา 5 ปี ที่ผ่านมา พบว่า พื้นที่ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชร เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่มีจำนวนรายงานการเกิดเหตุการณ์อุทกภัยบ่อยครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับสถิติข้อมูลน้ำท่วมของหน่วยงานอื่นๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนในเชิงรุกโดยเร่งด่วน เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับสายทางและความเดือดร้อนที่จะเกิดขึ้นกับประชาชน

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น กรมทางหลวง โดยสำนักบริหารบำรุงทาง จึงได้จัดทำ โครงการกำหนดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านถนน เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมทางหลวงในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งในโครงการนี้จะมุ่งเน้นศึกษาและแก้ไขปัญหาอุทกภัยบนทางหลวง อันมีสาเหตุเนื่องมาจากการระบายน้ำผ่านทางหลวง (การระบายน้ำโดยใช้ท่อเหลี่ยมและท่อลอด) มีศักยภาพไม่เพียงพอ หรือระบบการระบายน้ำข้างทาง ไม่สามารถระบายน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ได้ทันทำให้เกิดน้ำท่วมขังบนผิวทาง โดยได้คัดเลือกพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชร เป็นพื้นที่ศึกษาของโครงการ เนื่องจากทั้ง 2 จังหวัด เป็นพื้นที่ประสบปัญหาน้ำท่วมบ่อยครั้งเป็นประจำเกือบทุกปี

โดยในการศึกษาครั้งนี้จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองสภาพการไหล ตลอดจนศักยภาพการระบายน้ำ ในปัจจุบันของทางหลวงในพื้นที่ศึกษา รวมถึงใช้แบบจำลองดังกล่าวในการวิเคราะห์แนวทางแก้ไขปัญหา โดยเฉพาะในกรณีหากมีการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพอาคารระบายน้ำในอนาคต ว่าจะสามารถลดปัญหาอุทกภัยที่เกิดขึ้นในพื้นที่ได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งผลที่ได้จากการดำเนินงานในส่วนนี้จะทำให้ทราบถึงโครงข่าย (Network) ของตำแหน่งและขนาดอาคารระบายน้ำบนทางหลวง ที่จำเป็นจะต้องดำเนินการปรับปรุง เพื่อให้การแก้ไขปัญหาอุทกภัยที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างมีระบบ และเกิดประสิทธิภาพสูงสุด เห็นผลลัพธ์ในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ต่อไป

1.2. วัตถุประสงค์โครงการ

การดำเนินงานโครงการกำหนดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านถนน เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมทางหลวงในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำในพื้นที่มีความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วม ผ่านอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Cross Drain) เช่น ท่อเหลี่ยม ท่อลอด และสะพาน รวมถึง ระบบระบายน้ำข้างทาง (Longitudinal Drain) เช่น ท่อระบายน้ำ หรือรางระบายน้ำข้างทาง ของกรมทางหลวง โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในเขตพื้นที่ความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วม ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชร

2) เพื่อเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งจัดทำแบบรายละเอียดการก่อสร้างและเอกสารประเมินปริมาณงานและราคาค่าก่อสร้างในการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพอาคารระบายน้ำ ทั้งผ่านอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Cross Drain) และ ระบบระบายน้ำข้างทาง (Longitudinal Drain) เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในเขตพื้นที่ความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วม ของจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชร

1.3. ขอบเขตการดำเนินงาน

สำหรับรายละเอียดของขอบเขตการดำเนินงานโครงการกำหนดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านถนน เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมทางหลวงในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร จะมีกรอบแนวทางการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1) งานศึกษาทบทวนวรรณกรรม

1.1 ศึกษา ทฤษฎี แนวคิดและวิธีการในการแก้ไขปัญหาการระบายน้ำบนทางหลวงบริเวณพื้นที่มีความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วม ในประเทศไทยและในต่างประเทศ และเปรียบเทียบกับแนวคิดและวิธีการในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ของกรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการมาในอดีต

1.2 ทบทวนแผนการบริหารจัดการอุทกภัย โครงการศึกษาที่เกี่ยวกับการวางผังเมือง โครงการศึกษาที่เกี่ยวกับการจัดการระบายน้ำ ระบบป้องกันน้ำท่วมและการระบายน้ำในบริเวณพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชรและลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำยม ของหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ยกตัวอย่างเช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง และกรมชลประทาน เป็นต้น

1.3 ทบทวนแนวทางปฏิบัติและแผนงานในการจัดการอุทกภัยและแผนงานก่อสร้างของหน่วยงานกรมทางหลวง ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชร

2) งานคัดเลือกพื้นที่ศึกษาเพื่อปรับปรุงอาคารระบายน้ำ

2.1 รวบรวมข้อมูลพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ในจังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชรจากหน่วยงานภายในกรมทางหลวง และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2.2 ศึกษาลักษณะสภาพปัญหาของอุทกภัยที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษา เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและตำแหน่งจุดเสี่ยงหรือจุดอ่อน (Weak Point) บนทางหลวงในด้านการระบายน้ำ โดยการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงในพื้นที่/ประชาชนในพื้นที่

2.3 กำหนดพื้นที่เป้าหมายในการแก้ไขปัญหาของระบบระบายน้ำ ซึ่งประกอบด้วย

2.3.1 กลุ่มที่ 1 พื้นที่หรือสายทางที่มีปัญหาของระบบระบายน้ำตามขวาง (Cross Drain) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงของน้ำท่วมอันเกิดขึ้นมาจากน้ำหลาก หรือ เป็นพื้นที่มีความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วม ในระดับความเสี่ยงปานกลางและระดับความเสี่ยงสูง รวมทั้งสอดคล้องกับผลการสัมภาษณ์ข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวง ตามการดำเนินงานในข้อ 2.1 และ 2.2 โดยพื้นที่เป้าหมายที่จะวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกลุ่มนี้จะต้องมีขนาดพื้นที่รวมไม่น้อยกว่า 3,200 ตารางกิโลเมตร

2.3.2 กลุ่มที่ 2 พื้นที่หรือสายทางที่มีปัญหาการระบายน้ำข้างทาง (Longitudinal Drain) ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดปัญหาน้ำท่วมขังบนผิวทางอันเนื่องมาจากระบบระบายน้ำไม่สามารถระบายน้ำฝนออกจากพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยพื้นที่ศึกษาในกลุ่มนี้ จะต้องอยู่ในเขตพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งมีระยะทางของระบบระบายน้ำที่จะต้องทำการสำรวจและวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่น้อยกว่า 120 กิโลเมตร

3) งานวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงสะพาน ท่อเหลี่ยม และท่อลอด ในการบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่ศึกษา

3.1 รวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลอัตราการไหล ข้อมูลระดับน้ำของสถานีต่างๆ เป็นต้น

3.2 รวบรวมข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ ความลาดชันพื้นที่ ผังเมือง และสภาพการใช้ที่ดิน เช่น ข้อมูล DEM (Digital Elevation Model) แผนที่สภาพการใช้ที่ดิน เป็นต้น

3.3 สำรวจ ตำแหน่ง ขนาด มิติของอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (สะพาน ท่อเหลี่ยม และท่อลอด) ซึ่งอยู่บนถนนของกรมทางหลวง และถนนของหน่วยอื่นๆ ข้างเคียง เพื่อให้มาซึ่งข้อมูลสำหรับการประยุกต์ใช้ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ จำนวนไม่น้อยกว่า 180 ตำแหน่ง

3.4 สำรวจข้อมูลระบบระบายน้ำข้างทาง (Longitudinal Drain) ในพื้นที่ศึกษา โดยจะต้องมีระยะทางของระบบระบายน้ำในการสำรวจไม่น้อยกว่า 120 กิโลเมตร

3.5 ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งรูปแบบพฤติกรรมการไหลในระบบอาคารระบายน้ำตามขวาง และระบบระบายน้ำตามยาว และวิเคราะห์การเกิดน้ำหลาก ภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน (รูปแบบของขนาดและจำนวนอาคารระบายน้ำ ตามผลการสำรวจในปัจจุบัน) โดยจะต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) แบบจำลองให้มีความถูกต้องซึ่งยอมรับได้ตามหลักวิชาการ

3.6 นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผ่านการปรับเทียบแล้ว มาวิเคราะห์สถานการณ์ภายใต้กรณีที่มีการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพอาคารระบายน้ำในตำแหน่งต่างๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพการระบายน้ำของพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ผลลัพธ์ที่ได้ในการแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ และสามารถบรรเทาปัญหาน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ

4) งานสำรวจและออกแบบรายละเอียดเพื่อปรับปรุงอาคารระบายน้ำ

4.1 ทำการสำรวจด้านวิศวกรรมสำหรับอาคารระบายน้ำที่ต้องทำการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพ ตามผลการศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพการระบายน้ำด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ จากการดำเนินงานใน**ข้อ 3)**

4.2 ออกแบบรายละเอียดการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพอาคารระบายน้ำแบบตามขวางและระบบระบายน้ำแบบข้างทาง ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ตามผลการศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพการระบายน้ำด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ จากการดำเนินงานใน**ข้อ 3)** โดยให้พิจารณาร่วมกับข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงในพื้นที่

4.3 จัดทำบัญชีปริมาณงานและเอกสารประเมินราคาค่าก่อสร้าง ของอาคาระบายน้ำทุกแห่ง ที่ได้ทำการสำรวจและออกแบบรายละเอียดไว้

5) งานถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้

ถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ ในรูปแบบของการจัดประชุมสัมมนาให้กับเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ไม่น้อยกว่า 80 คน

1.4. ระยะเวลาดำเนินงาน

การดำเนินงานโครงการกำหนดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านถนน เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมทางหลวงในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร มีการกำหนดระยะเวลาในการดำเนินโครงการทั้งสิ้น 270 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญาจ้าง โดยรายละเอียดความสัมพันธ์ของรายงานที่จะต้องส่งมอบกับระยะเวลา จะแสดงไว้ใน **ตารางที่ 1.4-1**

ตารางที่ 1.4-1 ระยะเวลาดำเนินงานและการส่งมอบงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา (วัน)
1. รายงานเบื้องต้น (Incception Report)	30
2. รายงานความก้าวหน้า ฉบับที่ 1 (Progress Report 1)	60
3. รายงานฉบับกลาง (Interim Report)	150
4. รายงานความก้าวหน้า ฉบับที่ 2 (Progress Report 2)	195
5. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (Draft Final Report) - ร่างรายงานสำหรับผู้บริหาร - ร่างรายการคำนวณและเอกสารประเมินราคา - ร่างแบบรายละเอียด บัญชีปริมาณงาน การปรับปรุงอาคารระบายน้ำ ขนาด A3	240
6. รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) - รายงานสำหรับผู้บริหาร - รายการคำนวณและเอกสารประเมินราคา - แบบรายละเอียด บัญชีปริมาณงาน การปรับปรุงอาคารระบายน้ำ ขนาด A3	270

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

2. การทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาทบทวนวรรณกรรมของโครงการกำหนดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านถนน เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมทางหลวงในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร สามารถแบ่งหัวข้อของการศึกษาทบทวนออกได้เป็น 4 หัวข้อหลัก คือ 1) การทบทวนทฤษฎี/นิยามที่เกี่ยวข้อง 2) แนวคิดและวิธีการในการแก้ไขปัญหาการระบายน้ำบนทางหลวงบริเวณพื้นที่มีความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วม ในประเทศไทยและในต่างประเทศ 3) การทบทวนแผนการบริหารจัดการอุทกภัยของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในบริเวณพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร รวมถึงลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำยม และ 4) การทบทวนแนวทางปฏิบัติและแผนงานในการจัดการอุทกภัยและแผนงานก่อสร้างของกรมทางหลวงในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร ซึ่งรายละเอียดของผลการทบทวนวรรณกรรม ทั้ง 4 หัวข้อข้างต้นแสดงได้ดังนี้

2.1. การทบทวนทฤษฎี/นิยามที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการศึกษาทฤษฎี/นิยามที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่น้ำท่วมและระบบระบายน้ำ เป็นการดำเนินงานเพื่อสร้างพื้นฐานด้านองค์ความรู้ให้เกิดความเข้าใจต่อความหมายของพื้นที่น้ำท่วมและระบบการระบายน้ำบนทางหลวง โดยทฤษฎี/นิยาม ซึ่งทางที่ปรึกษาจะทำการทบทวนประกอบด้วย นิยามที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีการระบายน้ำ และทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

2.1.1. นิยามที่เกี่ยวข้อง

2.1.1.1. อุทกภัยและลักษณะของอุทกภัย

อุทกภัย หมายถึง ภัยธรรมชาติที่เกิดจากน้ำ ในสภาพของน้ำท่วม น้ำท่วมฉับพลัน หรือน้ำไหลเอ่อล้นฝั่งแม่น้ำลำธารทางน้ำ เข้าท่วมพื้นที่ซึ่งปกติไม่ได้อยู่ใต้ระดับน้ำ หรือเกิดจากการสะสมน้ำบนพื้นที่ที่ระบายออกไม่ทัน ทำให้พื้นที่นั้นปกคลุมไปด้วยน้ำ

ลักษณะของอุทกภัยสามารถแบ่งตามสาเหตุของการเกิด ออกได้เป็น 3 ประเภท หลัก ดังนี้

1) **น้ำป่าไหลหลากหรือน้ำท่วมฉับพลัน** มักจะเกิดขึ้นในที่ราบต่ำหรือที่ราบลุ่มบริเวณใกล้ ภูเขาต้นน้ำอันเกิดขึ้นเนื่องจากฝนตกหนักเหนือภูเขาต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้จำนวนน้ำ สะสมมีปริมาณมากจนพื้นดินและต้นไม้ดูดซับไม่ไหว ทำให้น้ำไหลบ่าลงสู่ที่ราบต่ำเบื้องล่าง อย่างรวดเร็ว มีอำนาจทำลายล้าง

อย่างรุนแรง ทำให้บ้านเรือนพังเสียหายและอาจทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้

2) **น้ำท่วมหรือน้ำท่วมขัง** เป็นลักษณะอุทกภัยที่เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำสะสมจำนวนมากที่ ไหลบ่าในแนวระนาบจากที่สูงไปยังที่ต่ำ เข้าท่วมอาคารบ้านเรือน เรือกสวนไร่นาได้รับความเสียหาย หรือ เป็นสภาพน้ำท่วมขังในเขตเมืองใหญ่ ที่เกิดจากฝนตกหนักต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีสาเหตุมาจากระบบการระบายน้ำไม่ดีพอ มีสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำ หรือเกิดน้ำทะเลหนุนสูงกรณีพื้นที่อยู่ใกล้ชายฝั่งทะเล.
3) **น้ำล้นตลิ่ง** เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำจำนวนมากที่เกิดจากฝนหนักต่อเนื่อง ที่ไหลลงสู่ลำน้ำ หรือแม่น้ำมีปริมาณมากจนระบายลงสู่ลุ่มน้ำด้านล่างหรือออกสู่ปากน้ำไม่ทัน ทำให้เกิดสภาวะน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมเรือกสวนไร่นาตามสองฝั่งน้ำ จนได้รับความเสียหาย ถนนหรือสะพานอาจชำรุดทางคมนาคมถูกตัดขาดได้

2.1.1.2. ระบบระบายน้ำในงานทางหลวง

ระบบระบายน้ำในงานทางหลวงแบ่งเป็นระบบใหญ่ๆ ได้ 3 ระบบ คือ ระบบระบายน้ำตามยาว (Longitudinal Drain) ระบบระบายน้ำตามขวาง (Cross Drain) และระบบระบายน้ำใต้ดิน (Sub Drain) โดยแต่ละระบบ มีรูปแบบและรายละเอียดแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการระบายน้ำ ในส่วนที่แตกต่างกัน ดังนี้

1) **ระบบระบายน้ำตามยาว** เป็นระบบระบายน้ำที่ออกแบบเพื่อระบายน้ำฝนที่ตกใน พื้นผิวจราจร และพื้นที่ประชิดเขตทางไปสู่ลำน้ำธรรมชาติเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาน้ำท่วมขังในผิวจราจร และความเสียหายจากการกัดเซาะลาดข้างทาง ในกรณีถนนผ่านย่านชุมชน ระบบระบายน้ำตามยาวจะออกแบบให้สามารถรองรับส่วนของน้ำทิ้งจากชุมชนประชิดข้างทางด้วย แต่จะไม่รวมน้ำทิ้ง และน้ำเสียจากโรงงานและนิคมอุตสาหกรรม หรือ ชุมชน หมู่บ้านขนาดใหญ่ ที่อยู่นอกพื้นที่ประชิด ระบบระบาย น้ำตามยาว ได้แก่ ระบบระบายน้ำข้างทาง เช่น ท่อกลม ท่อเหลี่ยม รางตื้น รางยูบ่อพัก Curb บนไหล่ ทางช่วงถมสูง Interceptor ช่วงลาดตัดเขา Drain Chute เป็นต้น
2) **ระบบระบายน้ำตามขวาง** เป็นระบบระบายน้ำที่ออกแบบเพื่อระบายน้ำฝนจาก พื้นที่รับน้ำฝน (Catchment Area) ที่อยู่ด้านเหนือน้ำซึ่งมีทิศทางการไหลตัดผ่านแนวทางเป็นลำน้ำธรรมชาติ เช่น ลำห้วย ลำคลอง แม่น้ำ หรือ น้ำหลากผ่าน (Flood plain) ซึ่งจะต้องออกแบบอาคาร ระบายน้ำให้มีขนาดพื้นที่ช่องเปิดที่เพียงพอต่อการระบายน้ำที่มีอัตราการไหลสูงสุดในรอบปีที่ใช้ในการออกแบบ โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วมคันทาง และพื้นที่ด้านเหนือน้ำ อาคารระบายน้ำตามขวาง ได้แก่ ท่อกลม ท่อเหลี่ยม และสะพาน เป็นต้น
3) **ระบบระบายน้ำใต้ดิน** เป็นระบบระบายน้ำที่ออกแบบเพื่อระบายน้ำในชั้นใต้ดินที่ ขังอยู่ในชั้นดินฐานรากและโครงสร้างชั้นทางและทางไหลธรรมชาติของน้ำใต้ดิน เพื่อป้องกันความ เสียหายของโครงสร้างชั้นทาง และเสถียรภาพของคันทางและลาดข้างทาง รูปแบบและรายละเอียดของ ระบบระบายน้ำใต้ดิน จะได้กล่าวถึงในหัวข้อ ระบบระบายน้ำใต้ดินต่อไป

2.1.1.3. พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก

นิยามของพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากของประเทศไทยนั้น ในปัจจุบันได้มีการนิยามความหมายไว้อย่างชัดเจน โดยกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งหน่วยงานอื่นๆ อาทิเช่น กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ก็ได้อ้างอิงนิยามและความหมายของพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากดังกล่าว มาใช้ในการบริหารจัดการน้ำ

สำหรับนิยามของพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก ซึ่งกำหนดไว้โดยกรมพัฒนาที่ดิน มีดังนี้

“พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก หมายถึง พื้นที่ที่มีการท่วมขังของน้ำบนผิวดินสูงกว่าระดับปกติและมีระยะเวลาที่น้ำท่วมขังยาวนานอยู่เป็นประจำ จนสร้างความเสียหายต่อพื้นที่การเกษตร ทรัพย์สิน และ/หรือชีวิต ทั้งนี้สามารถจำแนกการเกิดน้ำท่วมซ้ำซากออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ (ดัดแปลงมาจากชั้นอันตรายจากการถูกน้ำท่วม: Flooding คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย, 2543)”

- ระดับที่ 1 พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากเป็นครั้งคราว มีน้ำท่วมขังไม่เกิน 3 ครั้ง ในรอบ 10 ปี
- ระดับที่ 2 พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากบ่อยครั้ง มีน้ำท่วมขัง 4-7 ครั้ง ในรอบ 10 ปี
- ระดับที่ 3 พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากเป็นประจำ มีน้ำท่วมขังมากกว่าหรือเท่ากับ 8 ครั้ง ในรอบ 10 ปี”

2.1.2. ทฤษฎีการระบายน้ำ

อาคารระบายน้ำที่ใช้ในทางหลวงมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท แต่ในโครงการนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาในกรณีของอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Cross Drain) และอาคารระบายน้ำข้างทาง (Longitudinal Drain) โดยในส่วนของอาคารระบายน้ำแบบตามขวางนั้น จะทำหน้าที่ในการระบายจากด้านเหนือน้ำให้ไหลผ่านคันทางหรือถนนไปยังด้านท้ายน้ำ ดังนั้นอาคารประเภทนี้จึงมีหน้าที่หลักในการป้องกันการเอ่อล้นของน้ำท่วมขึ้นมาบนผิวทาง ตลอดจนเอ่อล้นเข้าท่วมพื้นที่ด้านเหนือน้ำ หรืออาจกล่าวได้ว่าอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง (Cross Drain) เป็นโครงสร้างหลักในการป้องกันน้ำท่วมเพื่อให้น้ำสามารถระบายผ่านถนนจากฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งได้โดยไม่ท่วมผิวทางนั้นเอง ในขณะที่อาคารระบายน้ำข้างทาง จะทำหน้าที่ในการรับน้ำฝนที่ตกบนถนนหรือผิวทาง หรือรับน้ำจากถนนสายย่อย/พื้นที่รับน้ำข้างเคียงและทำการลำเลียงปริมาณน้ำดังกล่าวออกสู่แหล่งน้ำหรือระบบระบายน้ำหลัก (ส่วนใหญ่คือ คลองระบายน้ำหรือแหล่งน้ำ) ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดน้ำท่วมบนผิวทางเช่นกัน

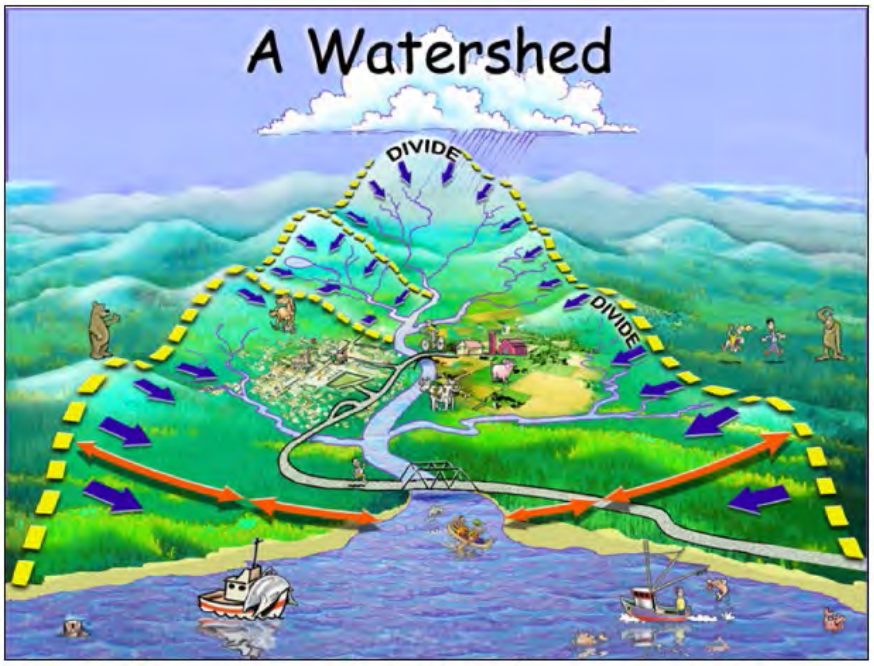
สำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำทั้ง 2 ประเภท มีขั้นตอนการออกแบบอยู่ 2 ขั้นตอนหลัก โดยขั้นตอนแรก เป็นการออกแบบขนาดเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณน้ำท่วมตามที่ออกแบบไว้ได้อย่างเพียงพอ ส่วนขั้นตอนที่สอง เป็นการออกแบบโครงสร้างเพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างจริง อย่างไรก็ตามสำหรับเนื้อหาที่จะนำเสนอในส่วนนี้ จะมุ่งเน้นไปที่ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบขนาดของอาคารระบายน้ำเท่านั้น ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้องค์ความรู้ทางด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ในการออกแบบ ดังนั้นการทบทวนทฤษฎีที่จะนำเสนอในส่วนนี้ประกอบด้วย ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา และทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์ ซึ่งจะนำมาใช้ในการศึกษาในโครงการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.2.1. ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต้องทำการศึกษาให้เกิดความเข้าใจก่อนที่จะทำการออกแบบขนาดของท่อลอดและท่อเหลี่ยม ประกอบด้วย ลุ่มน้ำและลักษณะตัวแปรทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำ ข้อมูลฝนและข้อมูลน้ำท่าที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ รวมถึงทฤษฎีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด โดยมีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

1) ลุ่มน้ำ (Watershed or Catchment)

ลุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่น้ำจะไหลลงสู่ทางออก (Outlet) ลุ่มน้ำของแม่น้ำ ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำใดๆ ก็คือ พื้นที่ซึ่งเมื่อฝนตกลงมาแล้วน้ำจะไหลรวมกันลงสู่แม่น้ำ ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำนั้นๆ (วีระพล, 2531) ในปัจจุบันมีการใช้คำว่า Watershed ในความหมายคล้ายคลึงกับคำว่า Drainage หรือ Basin หรือ Catchment หรือบางครั้งใช้เป็น Drainage Basin อย่างไรก็ตามคำเหล่านี้มีความหมายเป็นลุ่มน้ำเหมือนกันหมด จะแตกต่างกันบ้างเฉพาะกรณีที่พิจารณาเท่านั้น (วีระพล, 2531) อาทิ Drainage Basin ก็คือ ลุ่มน้ำที่รับและระบายน้ำด้วยลำธารสู่จุดออก หรือปากลำน้ำ และ Catchment ก็คือพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก แต่ไม่มีข้อจำกัดแน่นอนลงไปว่าขนาดเท่าใด ดังแสดงลุ่มน้ำและการแบ่งลุ่มน้ำใน**รูปที่ 2.1-1**

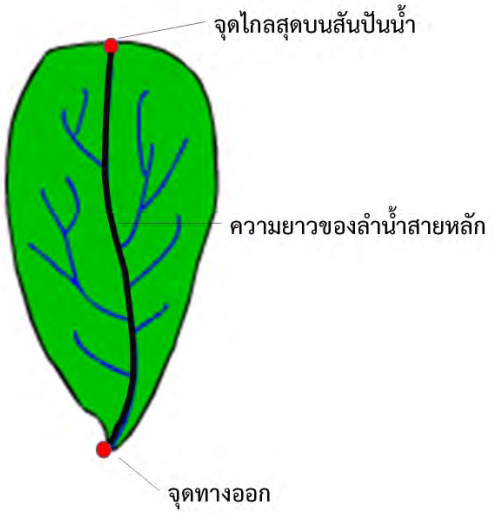


รูปที่ 2.1-1 ลุ่มน้ำและการแบ่งลุ่มน้ำ (Powell,2012)

ลักษณะของลุ่มน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดปริมาณน้ำท่า กล่าวคือ ลุ่มน้ำที่มีความแตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นขนาดของพื้นที่ ลักษณะภูมิประเทศ สภาพพืชพรรณปกคลุม การใช้ประโยชน์ที่ดิน ตลอดจนสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน ย่อมส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำท่าที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านของปริมาณและอัตราการไหลสูงสุด แม้ว่าจะมีปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเท่ากันก็ตาม ดังนั้นในการออกแบบอาคารระบายน้ำ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการกำหนดขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำในการออกแบบให้ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำของอาคารระบายน้ำนั้นๆ รวมถึงต้องทราบลักษณะทางกายภาพพื้นฐานของลุ่มน้ำ เพื่อที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการออกแบบอาคารระบายน้ำได้อย่างเหมาะสม

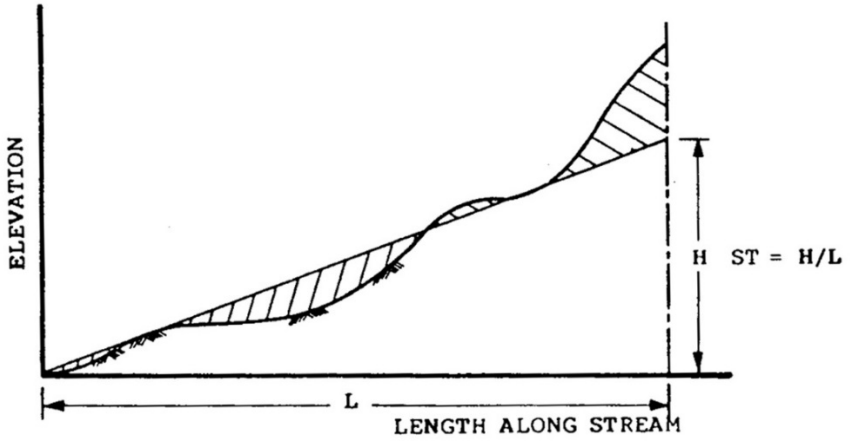
ลักษณะทางกายภาพพื้นฐานที่สำคัญของลุ่มน้ำที่จำเป็นต้องทราบ สำหรับนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำ ได้แก่ ความยาวของลำน้ำหลัก และความลาดชันเฉลี่ยบนลำน้ำสายหลัก ซึ่งมีนิยามดังนี้

- ความยาวของลำน้ำหลัก คือ ความยาวของลุ่มน้ำวัดตามแนวลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงสันเขาหรือสันปันน้ำที่อยู่ไกลสุด ดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-2**



รูปที่ 2.1-2 ความหมายของความยาวบนลำน้ำสายหลัก

- ความลาดชันเฉลี่ยบนลำน้ำสายหลัก คือ ความลาดชันที่เกิดจากการลากเส้นสมมติตามรูปตัดตามยาว (Profile) ของลำน้ำแล้วส่งผลให้พื้นที่ใต้กราฟและพื้นที่เหนือกราฟ (พื้นที่ที่เกิดจากเส้นสมมติกับเส้นค่าระดับความสูงของพื้นที่) มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-3**



รูปที่ 2.1-3 แนวคิดการหาค่าความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำสายหลัก (Powell,2012)

2) ปริมาณฝน (Rainfall)

ปริมาณฝนเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการคำนวณออกแบบระบบระบายน้ำ โดยฝนเป็นรูปแบบหนึ่งของหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ซึ่งเป็นน้ำที่ตกจากบรรยากาศอยู่ในหลายรูปแบบ ได้แก่ ฝน (Rain) หิมะ (Snow) ลูกเห็บ (hail) และฝนละออง (Drizzle) เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถที่จะแยกประเภทของฝนตามสาเหตุที่ทำให้เกิดฝนตกได้ 4 ลักษณะ คือ

(1) ฝนเกิดจากการพาความร้อน (Convective Storm) ซึ่งเกิดจากมวลอากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นเมื่อปะทะอากาศเย็นข้างบน จึงกลั่นตัวตกเป็นน้ำฝน

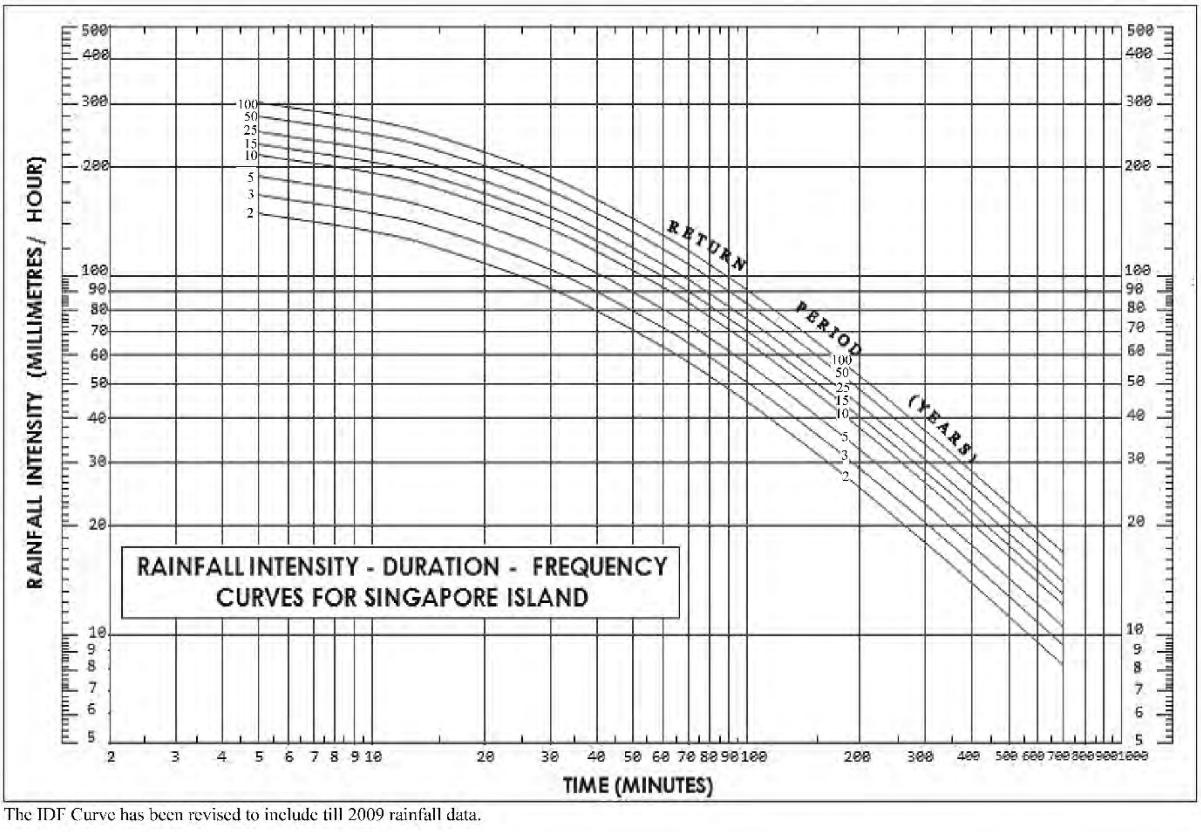
(2) ฝนภูเขา (Orographic Storm) ซึ่งเกิดจากมวลอากาศที่อุ้มไอน้ำพัดจากทะเลแล้วลอยมาปะทะภูเขา จากนั้นจะลอยตัวสูงขึ้นไปกลั่นตัวเป็นฝนตกลงมา ซึ่งฝนประเภทนี้จะเป็นสาเหตุของพื้นที่ฝนตกชุกบริเวณด้านหน้าเขาและพื้นที่เงาฝนบริเวณด้านหลังซึ่งมีฝนตกน้อย

(3) ฝนในแนวอากาศ (Frontal Storm) เกิดจากมวลอากาศร้อนปะทะมวลอากาศที่มีอุณหภูมิเย็น ในชั้นบรรยากาศแล้วเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวตกลงมาเป็นฝน

(4) ฝนพายุหมุน (Cyclonic Storm) เกิดจากความกดอากาศสูงเคลื่อนไปสู่บริเวณความกดอากาศต่ำ ทำให้มวลอากาศร้อนบริเวณพื้นดินในบริเวณความกดอากาศต่ำลอยตัวสูงขึ้น เมื่อปะทะอากาศเย็นข้างบน จึงกลั่นตัวตกเป็นน้ำฝน

อย่างไรก็ตามหากจะพิจารณาถึงตัวแปรของข้อมูลฝนที่สำคัญที่สุด ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ จะต้องพิจารณาข้อมูลค่าความเข้มฝน (Rainfall Intensity) ซึ่งหมายถึง ปริมาณฝนที่ตกในหนึ่งหน่วยเวลา มักนิยมวัดเป็นหน่วยความลึกต่อเวลา เช่น มิลลิลิตรต่อนาที หรือมิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งหากฝนที่ตกมีค่าความเข้มฝนมาก นั่นหมายถึง มีฝนตกหนักมาก 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 ดังตัวอย่างใน**รูปที่ 2.1-4** ซึ่ง IDF Curve นี้ สามารถที่จะนำไปใช้ในคำนวณอัตราการไหลสูงสุดเพื่อการออกแบบขนาดของอาคารระบายน้ำได้ต่อไป



รูปที่ 2.1-4 ตัวอย่าง Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve หรือ IDF Curve
(PUB, Singapore National Water Agency, 2009)

3) น้ำท่า (Runoff)

น้ำท่าเป็นข้อมูลที่สำคัญทางด้านอุทกวิทยาที่วิศวกรจะต้องทราบ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณขนาดอาคารระบายน้ำ โดยรูปแบบของข้อมูลน้ำท่าที่มักนำมาใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ มีอยู่ด้วยกัน 2 ประเภท คือ ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลกราฟน้ำท่า ซึ่งมีรายละเอียดอธิบายได้ดังนี้

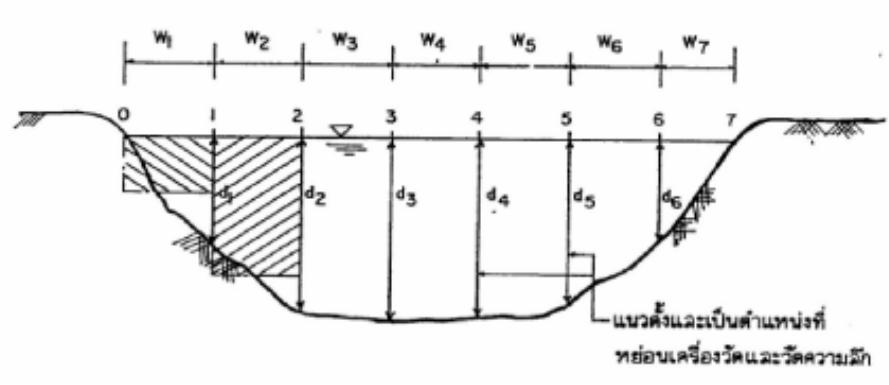
(1) ข้อมูลอัตราการไหล

ข้อมูลอัตราการไหลเป็นข้อมูลปริมาตรการไหลต่อหน่วยเวลา ซึ่งโดยทั่วไปมักอยู่ในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (CMS ในหน่วย SI) หรือลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที (CFS ในหน่วยอังกฤษ) ซึ่งโดยทั่วไปอัตราการไหลสามารถคำนวณได้จากสมการ

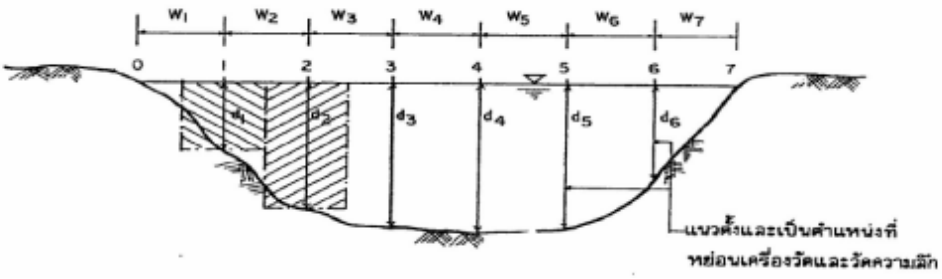
$$Q = AV$$

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

หากเป็นการไหลในลำน้ำ ค่าความเร็วในการไหลสามารถตรวจวัดได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องวัดกระแสน้ำ (Current meter) โดยในการตรวจวัดจะมีการแบ่งพื้นที่หน้าตัดออกเป็นส่วนๆ ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ วิธี Mean-Section และวิธี Mid-Section ซึ่งทั้ง 2 วิธี มีหลักการคล้ายกัน โดยมีจุดต่างกันที่การพิจารณาหน้าตัดในการคำนวณ ดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-5** และ**รูปที่ 2.1-6** โดยวิธีการคำนวณดังนี้



รูปที่ 2.1-5 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี Mean-Section (สันติ, 2543)



รูปที่ 2.1-6 การแบ่งพื้นที่ส่วนย่อยตามวิธี Mid-Section (สันติ, 2543)

วิธี Mean-Section จะพิจารณาหน้าตัดระหว่างจุดที่ทำการวัดในการคำนวณ เช่น

- **ช่วงที่ 1** ระหว่าง จุด 0 กับ จุด 1 ใน**รูปที่ 2.1-5**
  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 ใน**รูปที่ 2.1-5**
  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 ใน**รูปที่ 2.1-6**
  ความเร็วที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วของจุด 1
  ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะพิจารณาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า $A_1 = d_1 \times (W_1/2 + W_2/2)$
- **ช่วงที่ 2** ระหว่าง จุด 1 กับ จุด 2 ใน**รูปที่ 2.1-6**
  ความเร็วที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นความเร็วของจุด 2
  ส่วนพื้นที่หน้าตัดจะพิจารณาเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า $A_2 = d_2 \times (W_2/2 + W_3/2)$

ในแต่ละตำแหน่งของการวัดความเร็วกระแสน้ำ ควรวัดที่ระดับความลึกหลายระดับ เพื่อนำมาเฉลี่ยเป็นความเร็ว ณ ตำแหน่งนั้น ซึ่งโดยทั่วไปมักจะทำการวัดความเร็วการไหลที่ระดับความลึกของน้ำ 3 ตำแหน่ง ดังนี้

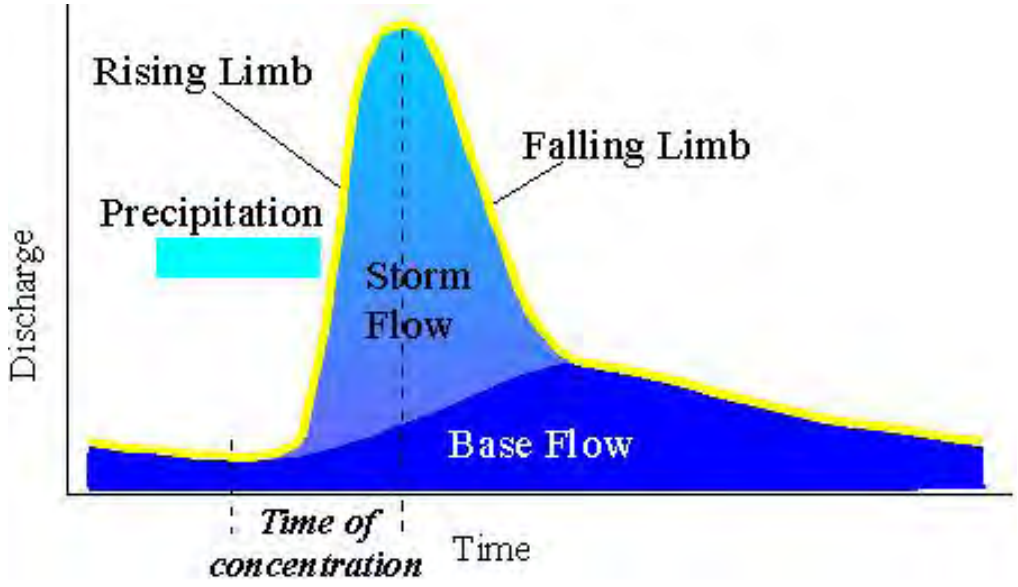
- $V_{0.2}$ = ความเร็วที่ 0.2d วัดจากผิวน้ำ
- $V_{0.6}$ = ความเร็วที่ 0.6d วัดจากผิวน้ำ
- $V_{0.8}$ = ความเร็วที่ 0.8d วัดจากผิวน้ำ
  เมื่อ d คือ ความลึกน้ำของตำแหน่งที่ตรวจวัด

(2) ข้อมูลกราฟน้ำท่า (Hydrograph)

กราฟน้ำท่า (Hydrograph) เป็นข้อมูลที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลตามเวลา ณ ตำแหน่งที่พิจารณาใดๆ ซึ่งโดยทั่วไปกราฟน้ำท่าจะประกอบด้วยการไหล 2 ส่วน คือ การไหลของน้ำผิวดิน เรียกว่า Direct Runoff (หรือ Quickflow) และน้ำที่ไหลจากใต้ผิวดิน เรียกว่า Baseflow (ดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-7**) ซึ่งอธิบายความหมายได้ดังนี้

- **Direct Runoff** นั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำฝนที่ตกลงมาและไหลไปตามผิวดิน (Surface Runoff) นอกจากนี้ ยังรวมถึงน้ำฝนที่ตกลงในลำน้ำโดยตรง และน้ำไหลใต้ผิวดินบางส่วนที่ไหลพ้นผิวดินขึ้นมา โดยการเกิดของ Direct Runoff นี้อาจเกิดขึ้นทันทีเมื่อฝนเริ่มตกหรือหลังจากฝนตกไม่นาน และเพิ่มปริมาณจนถึงจุดสูงสุด จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง โดยปริมาณน้ำสูงสุดนั้นอาจเกิดขณะฝนกำลังตกก็ได้หากฝนตกต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน แต่โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นหลังจากฝนหยุดตกไประยะหนึ่ง เนื่องจากน้ำจากจุดต่างๆ ในพื้นที่จะต้องใช้เวลาระยะหนึ่งในการไหลมารวมตัวกันที่ทางออก ซึ่งระยะเวลาขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ของลุ่มน้ำ

- **Baseflow** เป็นน้ำที่ไหลมาทางใต้ดินซึ่งไหลได้ช้ากว่า เวลาในการเดินทางจากจุดที่ฝนตกลงมาจนกระทั่งถึงทางออกของลุ่มน้ำ อาจเป็นระยะเวลาหลายวันจนกระทั่งเป็นปี ปริมาณของน้ำส่วนนี้ในลำน้ำค่อนข้างจะคงที่โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล



รูปที่ 2.1-7 องค์ประกอบของกราฟน้ำท่า
(https://nrcca.cals.cornell.edu/soil/CA6/CA0658.php)

ในการนำกราฟน้ำท่าไปประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำนั้น สามารถใช้ข้อมูลกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรง หากบริเวณที่ต้องการก่อสร้างอาคารระบายน้ำมีสถานีวัดน้ำท่า แต่หากไม่มีสถานีตรวจวัดก็จำเป็นที่จะต้องมีการสร้างกราฟน้ำท่าขึ้นมา ซึ่งการสร้างกราฟน้ำท่าเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำนั้น จะต้องเริ่มจากการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) จากนั้นจึงนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลฝน เพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำนองหรือปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำต่อไปได้

4) การคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

อัตราการการไหลสูงสุดเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำ เนื่องจากเป็นตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ กล่าวคือ ขนาดของอาคารระบายน้ำที่ทำการออกแบบจะต้องสามารถรองรับปริมาณการไหลด้วยอัตราการไหลสูงสุดที่กำหนดได้ ซึ่งวิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

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

โดยรายละเอียดของวิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด ตามที่กล่าวข้างต้น สามารถแสดงได้ดังนี้

(1) วิธี Rational Method

วิธีการนี้เป็นการหาอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ โดยคิดจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกินที่ตกลงในพื้นที่รับน้ำ (ปริมาณน้ำฝนที่เหลือจากการระเหย การซึมลงดิน การคายระเหย การอุ้มและเก็บกัก อยู่ในแอ่งน้ำต่างๆ) โดยมีสมมติฐานว่า การตกของฝนมีความเข้มสม่ำเสมอกระจายทั่วพื้นที่รับน้ำฝนตลอดช่วงเวลาของฝนตกที่พิจารณา ซึ่งด้วยสมมติฐานดังกล่าว เป็นเหตุให้สูตรนี้เหมาะสมกับการคำนวณอัตราการไหลของน้ำกรณีที่พื้นรับน้ำขนาดไม่ใหญ่มากนัก เพราะยิ่งพื้นที่รับน้ำมีขนาดใหญ่การกระจายของฝนในพื้นที่รับน้ำก็ยิ่งแตกต่างกัน ความถูกต้องของการคำนวณก็จะยิ่งน้อยลงวิธี Rational Formula เป็นวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศสำหรับหน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทยกำหนดให้ใช้สูตรนี้ ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำฝนไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดสามารถหาได้ ตามสมการต่อไปนี้

$$Q = 0.278\ CIA$$

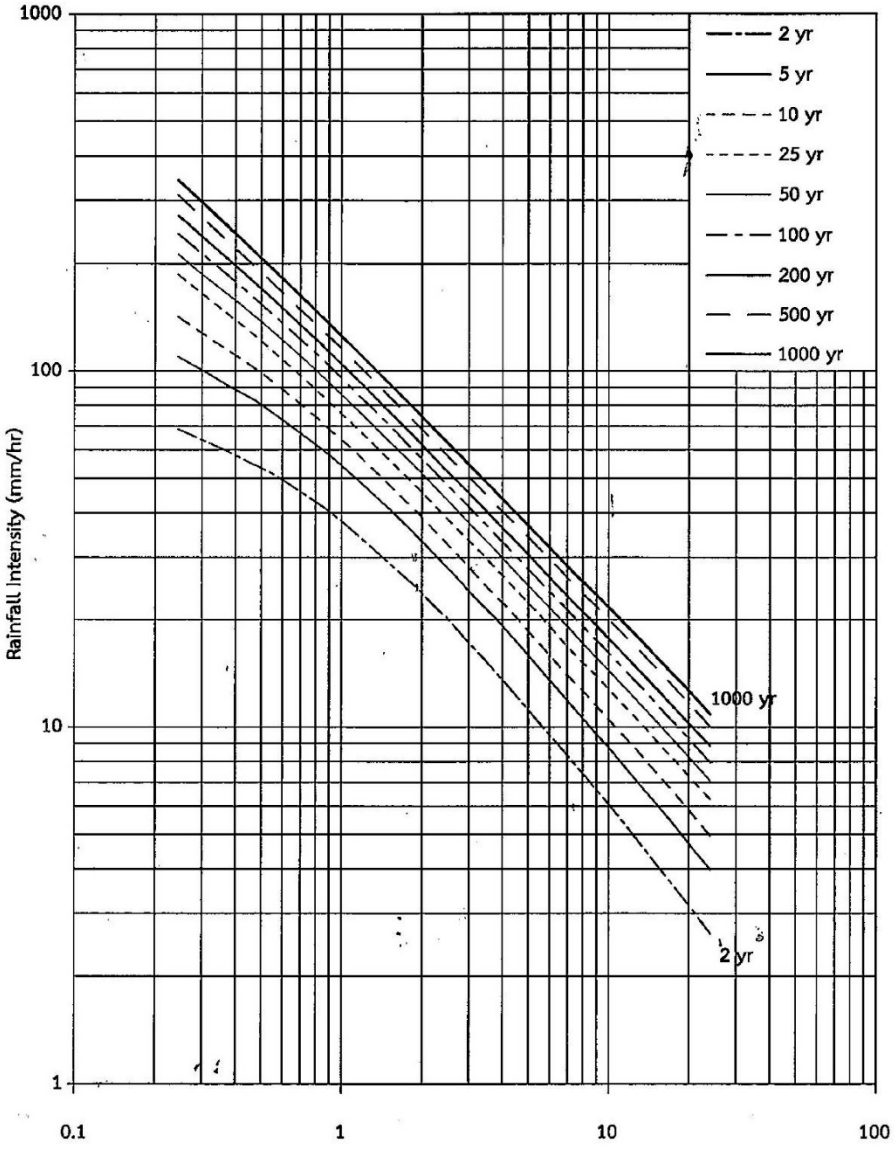
เมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุดของน้ำ ณ จุดที่พิจารณามีหน่วยเป็น ลบ.ม/วินาที

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Coefficient of Runoff) ขึ้นกับลักษณะของพื้นที่รับน้ำฝน

I = ความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/ชั่วโมง

A = พื้นที่รับน้ำฝนมีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร สามารถหาได้จากการแบ่งพื้นที่รับน้ำฝนในแผนที่เส้นชั้นความสูง หรือแผนที่แสดงโครงสร้างทางน้ำ

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 ดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-8** ซึ่งในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำ วิศวกรต้องเลือกใช้กราฟน้ำฝนของสถานีวัดที่อยู่ใกล้โครงการมากที่สุด



รูปที่ 2.1-8 ตัวอย่างของ IDF Curve

สำหรับการหาค่าความเข้มของฝน (I) จากกราฟจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรต่อไปนี้คือ

- รอบปีการเกิดซ้ำของน้ำฝน (Return period) ที่ใช้ในการออกแบบซึ่งกำหนดตามหลักเกณฑ์ที่กล่าวแล้วข้างต้น
- ช่วงเวลาการตกของฝน (Duration) ที่ใช้การคำนวณกำหนดให้เท่ากับช่วงเวลาที่น้ำฝนส่วนเกินที่ตกในพื้นที่รับน้ำไหลมารวมพร้อมกัน ณ จุดที่ตั้งของอาคารระบายน้ำที่พิจารณาออกแบบ (Time of Concentration) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

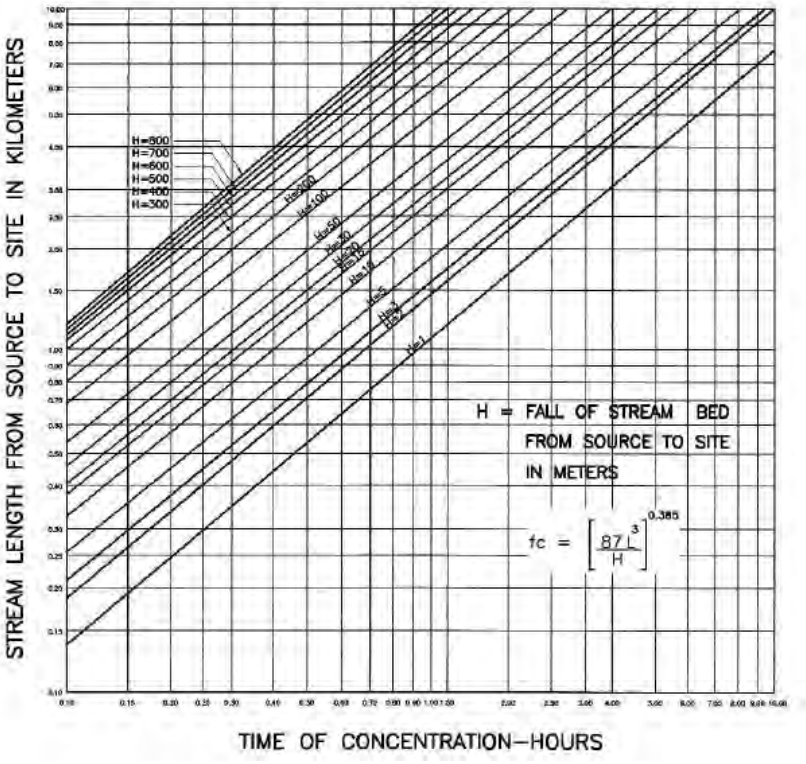
$$T_c = \left[\frac{0.87L^3}{H}\right]^{0.385}$$

เมื่อ T_c = Time of Concentration มีหน่วยเป็นชั่วโมง

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่ จากจุดไกลที่สุดบนสันปันน้ำถึงตำแหน่งที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

H = ความแตกต่างระหว่างระดับพื้นดินที่จุดไกลสุดบนสันปันน้ำกับระดับที่ตำแหน่งอาคารระบายน้ำที่พิจารณามีหน่วยเป็นเมตร

ทั้งนี้ค่า Tc ตามสมการดังกล่าวสามารถอ่านค่าได้จากกราฟใน**รูปที่ 2.1–9** หากทราบความยาวลำน้ำจนถึงตำแหน่งที่พิจารณาและความแตกต่างระหว่างระดับพื้นดินที่จุดไกลสุดบนสันปันน้ำกับระดับที่ตำแหน่งอาคารระบายน้ำ



รูปที่ 2.1-9 กราฟแสดงการประเมินค่า TC

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณค่า ค่า Tc ได้จากสมการอื่นดัง**ตารางที่ 2.1-1** เนื่องจากความลาดชันของพื้นที่รับน้ำฝนตามแนวทางการไหลของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วงๆ โดยมากมักมีความลาดชันสูงบริเวณต้นน้ำและมีความลาดชันน้อยลงเมื่อระยะทางน้ำไหลที่มีความลาดชันใกล้เคียงกันแล้วนำค่า Tc ของแต่ละช่วงมารวมกัน

ตารางที่ 2.1-1 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)	$T_c = 1.8(1.1 - c)L^{0.50} IS^{0.333}$ 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 overload slope, ft/ft

ตารางที่ 2.1-1 (ต่อ) สมการที่ใช้คำนวณเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า (Time of concentration, t_c)

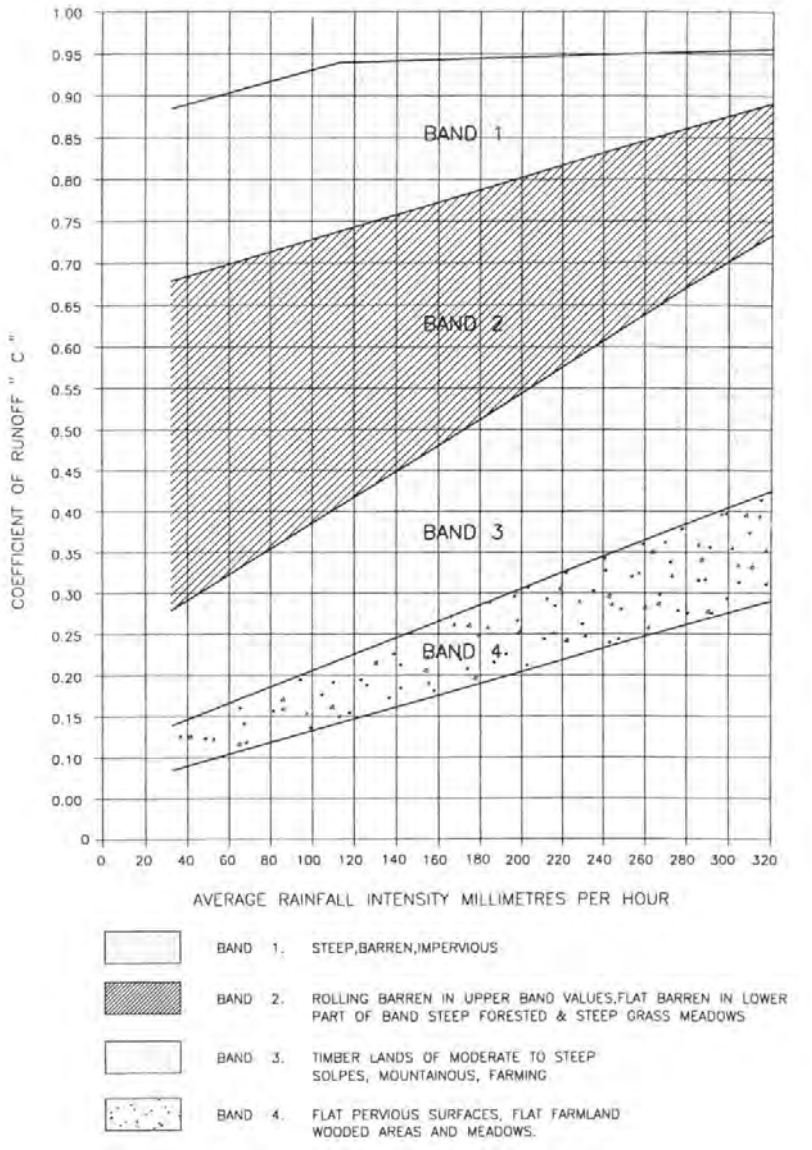
Method and date	Formula for t_c (min)
SCS Lag Equation (1972)	$t_c = \frac{1.67L^{0.8}[(1000/CN)-9]^{0.6}}{1900^{0.5}}$ L = Hydraulic length of watershed (longest flow path), ft CN = SCS runoff curve number S = Average watershed slope,%
SCS Average Velocity (1975)	$t_c = \frac{1}{60}\sum\frac{L}{V}$ 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) รวมทั้งความเข้มและความต่อเนื่องของฝน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องค่อนข้างยากในการเลือกใช้ค่า C ที่เหมาะสม มีหลายหน่วยงานได้เสนอแนวทางในการเลือกใช้ค่า C ทั้งในรูปแบบของกราฟและตาราง ได้แก่ กราฟสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff Coefficient) ตาม**รูปที่ 2.1-10** ซึ่งกรมทางหลวงได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบมานาน โดยกราฟดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่ากับความเข้มของฝน สำหรับพื้นที่รับน้ำที่มีลักษณะแตกต่างกัน 4 แบบ ซึ่งพื้นที่รับน้ำแต่ละแบบจะมีช่วงของค่า C ที่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมากพอสมควร ดังนั้นกราฟดังกล่าวจึงควรใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับเลือกช่วงของค่า C ควรใช้ข้อมูลอื่นประกอบในการเลือกค่า C ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น ชนิดของดิน ชนิดและความหนาแน่นของพืชคลุมดิน ปริมาณการเก็บกักตามแอ่งน้ำธรรมชาติและที่สร้างขึ้น เป็นต้น

นอกจากนั้นแล้ว ยังมีการเสนอแนวทางการประเมินค่า C โดย Chow et al (1988) ดัง**ตารางที่ 2.1-2** ซึ่งมีการแบ่งคุณลักษณะของพื้นผิวพื้นที่รับน้ำฝนที่ละเอียดมากขึ้น โดยค่า C จะขึ้นอยู่กับรอบการเกิดซ้ำของฝนที่เลือกใช้ด้วย อย่างไรก็ดีควรจะนำข้อมูลชนิดของดิน และปริมาณเก็บกักมาพิจารณาปรับค่าที่ได้จากตารางนี้ด้วย

หน่วยงาน Soil Conservation Service (scs) สหรัฐอเมริกาได้ศึกษาค่า C โดยแบ่งดินชนิดต่างๆ เป็น 4 กลุ่ม ตาม**ตารางที่ 2.1.-3** และได้เสนอค่า C สำหรับดินกลุ่ม B ซึ่งเป็นพื้นที่การเกษตร ดัง**ตารางที่ 2.1-4** ส่วนค่า C สำหรับดินกลุ่มอื่น คือกลุ่ม A กลุ่ม C และกลุ่ม D หาได้โดยการคูณด้วยแฟคเตอร์ ตาม**ตารางที่ 2.1-5**

การเลือกใช้ค่า C จากตารางหรือกราฟใดนั้นวิศวกรผู้ออกแบบควรพิจารณาถึงข้อมูลเงื่อนไขลักษณะของพื้นที่รับน้ำที่มีว่ามีความสอดคล้องกับการใช้ตารางหรือกราฟใด



รูปที่ 2.1-10 กราฟการประเมินสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (Runoff Coefficient)

ตารางที่ 2.1-2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลออกที่ใช้ในสูตร Rational Formula

คุณลักษณะของพื้นผิว	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) ชันเกิน 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) ชันเกิน 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) ชันเกิน 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) ชันเกิน 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) ชันเกิน 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) ชันเกิน 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

ตารางที่ 2.1-3 แสดงการให้ค่าจำกัดความการแบ่งชนิดของดินตามแนวทางของ SCS Hydrologic Soil Groups

Soil Group	Description	Final Infiltration Rate (mm/h)	Soil Texture
A	Lowest runoff potential. Includes deep sans 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 2.1-4 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 2.1-5 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	1.40

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

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i A_i}{A_{Total}}$$

$$= \frac{C_1 A_1 + C_2 A_2 + \cdots + C_n A_n}{A_{Total}}$$

เมื่อ Ci = สัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับพื้นที่ย่อยใดๆ
Ai = ขนาดของพื้นที่รับน้ำย่อยใดๆ
n = จำนวนพื้นที่ย่อย

(2) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า คือ กราฟน้ำท่าผิวดินที่เกิดจากฝนสุทธิหรือฝนส่วนเกิน 1 หน่วย ซึ่งแผ่กระจายสม่ำเสมอบนพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยอัตราการตกคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งในกรณีของประเทศไทย กรมชลประทานได้ทำการวิเคราะห์ และรวบรวมกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของลุ่มน้ำต่างๆ ตามเอกสาร Hydrology No.1502/08 ฉบับปรับปรุงแก้ไขซึ่งดำเนินการโดยส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ เมื่อปี 2552 โดยเป็นความสัมพันธ์ของช่วงเวลาการเกิดปริมาณการไหลสูงสุด (Tp) และความสัมพันธ์ของประมาณการไหลสูงสุด (Qp) กับตัวแปรต่างๆ ของกลุ่มน้ำและลำน้ำดังสมการต่อไปนี้

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

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

เมื่อ Tp = เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่า (ชั่วโมง)
Qp = ปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่าของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/มิลลิเมตร)
L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (กิโลเมตร)
Lc = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด (กิโลเมตร)
S = ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่
A = ขนาดของพื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร)
a,b,c,d, = ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชชั่น ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากข้อมูลที่มีอยู่จริงในแต่ละลุ่มน้ำ

โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น ได้แก่ ค่าพื้นที่รับน้ำฝน (A) ค่าความยาวลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) ค่าความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (S) หาได้จาการวัดในแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

สำหรับค่า เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Tp) และค่าปริมาณการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Qp) หาได้จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงของแต่ละสถานี

จากพารามิเตอร์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่คำนวณได้จากสมการทั้ง 2 นำไปประยุกต์กับกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ก็สามารถคำนวณกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าของพื้นที่รับน้ำฝนของลุ่มน้ำย่อยได้ ซึ่งกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless) ของสถานีสำรวจอุทกวิทยา ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่ 2.1-6**

ตารางที่ 2.1-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Tp และ LL_c/S และความสัมพันธ์ระหว่าง Qp/A และ Tp ของสำหรับลุ่มน้ำต่างๆ

ลำดับ	ลุ่มน้ำ	จำนวนสถานีที่ใช้วิเคราะห์	$Tp = a(LL_c/\sqrt{S})^b$			$Qp/A = c(Tp)^d$		
			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

ขั้นตอนการหาอัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า มีดังนี้

1. หาข้อมูลตัวแปรที่ต้องใช้ คือ
   - A หน่วยเป็น ตารางกิโลเมตร
   - L หน่วยเป็น กิโลเมตร
   - Lc หน่วยเป็น กิโลเมตร
   - S ความลาดเทของลำน้ำหลัก
   - I ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำ (มม.) จะใช้ฝนสูงสุด (มม./ชม.) ตามรอบ Return Period ที่ต้องการคำนวณ
2. คำนวณค่า Tp จากสมการ Tp ของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำปิง Tp = $0.5924\left(LL_c\sqrt{s}\right)^{0.3108}$
3. คำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดของฝนหนึ่งหน่วย Qp จากสมการกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มแม่น้ำปิง Qp = A x 0.2094 x $(Tp)^{-1.0018}$
4. หาช่วงเวลาการตกของฝนวิกฤต (Duration, Tr) โดยหาได้จาก 2 สมมุติฐาน คือ
   - ช่วงเวลาการตกของฝนวิกฤต เท่ากับช่วงเวลาการไหลรวมของน้ำ (Time of Concentration) ซึ่งสามารถหาได้จากสูตรการหาค่า Tc ที่กล่าวถึงแล้วข้างต้น
   - ให้ช่วงเวลาการตกของฝน Tr = Tp/5.5 เลือกใช้ค่า Tr ที่น้อยกว่า
5. นำค่า Tr ที่ได้ไปหาค่าความเข้มของฝน (I) ในรอบปีที่ใช้ออกแบบ จาก IDF Curve
6. หาค่าวิกฤตฝน Ir = I x Tr
7. หาค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่าจากปริมาณฝนรวม (ฝนเฉลี่ยรายวัน) เช่น
   ลุ่มน้ำยม Co = 0.1787 RF + 3.8849 Co = ...%
8. หาค่าปริมาณน้ำฝนใช้การ = Co x Ir
9. อัตราการไหลสูงสุด = (Co x Ir) x Qp (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)

สำหรับข้อจำกัดในการใช้ Unit Hydrograph ในการประเมินอัตราการไหลสูงสุด คือ

- พื้นที่ลุ่มน้ำ ไม่ควรเกิน 10,000 ตารางกิโลเมตร
- ด้านเหนือน้ำ ต้องไม่มีอ่างเก็บน้ำ หรือฝายขนาดใหญ่

ทั้งนี้ข้อมูลที่ต้องมี (ณ จุดที่ตั้งที่ต้องการหาปริมาณอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรน้ำนอง) ได้แก่

- ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน (A) - ตารางกิโลเมตร
- ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดที่พิจารณาถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (L) - กิโลเมตร
- ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดที่พิจารณาถึงจุดบนลำน้ำที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของลุ่มน้ำมากที่สุด (Lc) กิโลเมตร
- ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่ (S)
- ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำ - มิลลิเมตร (ช่วงเหตุการณ์ที่ต้องการประเมิน)

(3) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis)

การวิเคราะห์อัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาคสำหรับลุ่มน้ำในประเทศไทยที่ใช้ในคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง กรมทางหลวง ได้อ้างอิงมาจากเอกสารทางวิชาการ Hydrology No.1356/02 ซึ่งจัดทำโดยส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาบริหารน้ำ ซึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทย โดยแบ่งออกเป็นภาคใหญ่ 6 ภาค ตามลักษณะภูมิประเทศ คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคใต้ ซึ่งในแต่ละภาคยังแบ่งย่อยตามพื้นที่ลุ่มน้ำหลักอีกหลายลุ่มน้ำ ดังนี้

- ภาคเหนือแบ่งเป็นลุ่มน้ำหลัก 7 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำปิง ลุ่มน้ำวัง ลุ่มน้ำยม ลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำอิง และลุ่มน้ำสาละวิน
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งเป็น 3 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำชี และลุ่มน้ำมูล
- ภาคกลาง แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำสะแกรัง ลุ่มน้ำป่าสัก และลุ่มน้ำท่าจีน
- ภาคตะวันออก แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำปราจีน ลุ่มน้ำโตนเลสาบ (ทะเลสาบเขมร) และลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก
- ภาคตะวันตก แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มแม่น้ำกลอง ลุ่มแม่น้ำเพชรบุรี ลุ่มแม่น้ำปราณบุรี และลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันตก
- ภาคใต้ แบ่งเป็น 4 ลุ่มน้ำ คือ ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก ลุ่มน้ำตาปี และลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

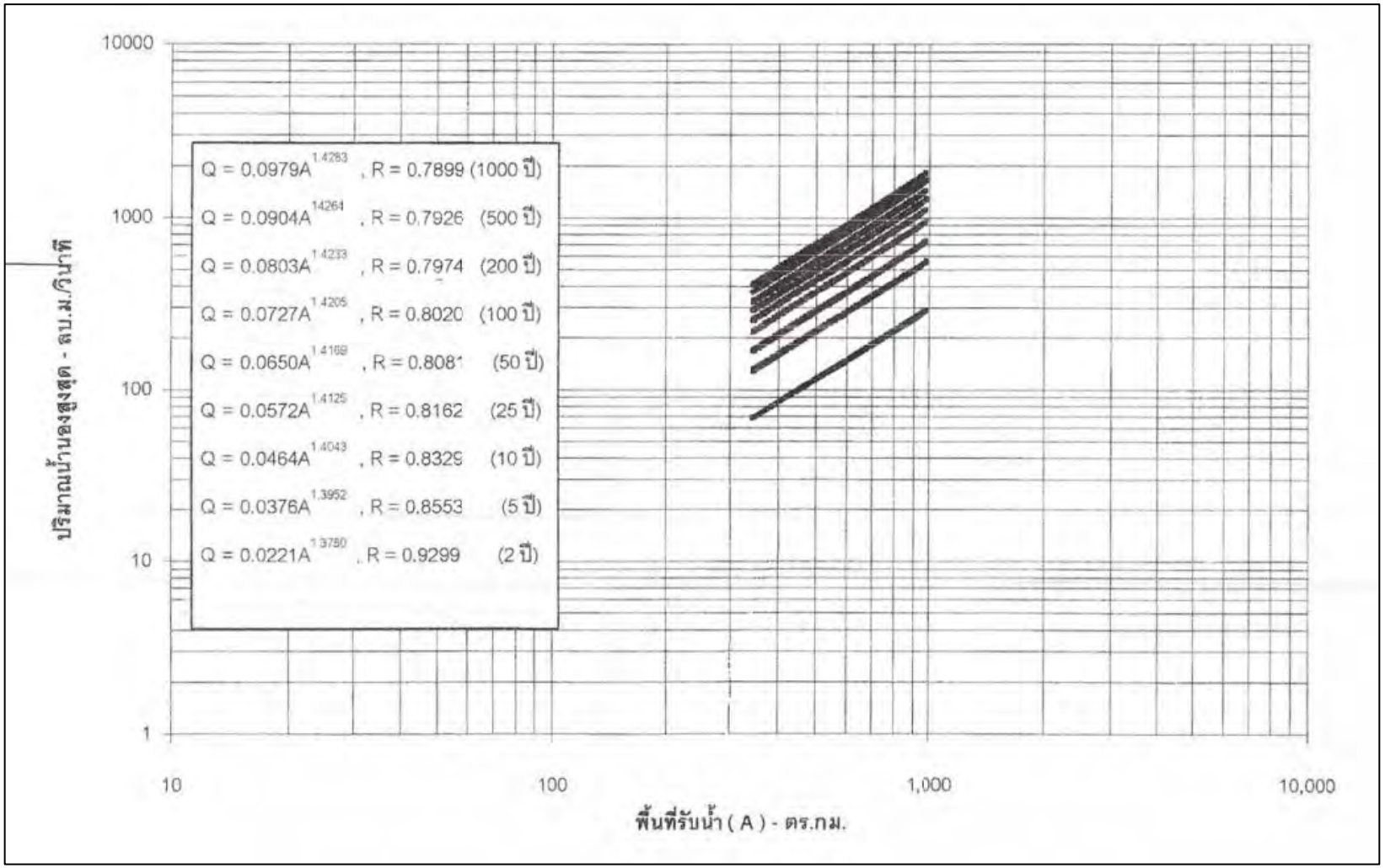
สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดของน้ำในรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (Q_{Tr}) กับพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) นั้น ดำเนินการโดยการวิเคราะห์ตัวแปรความสัมพันธ์แบบถดถอย (Regression) ในรูปสมการต่อไปนี้

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

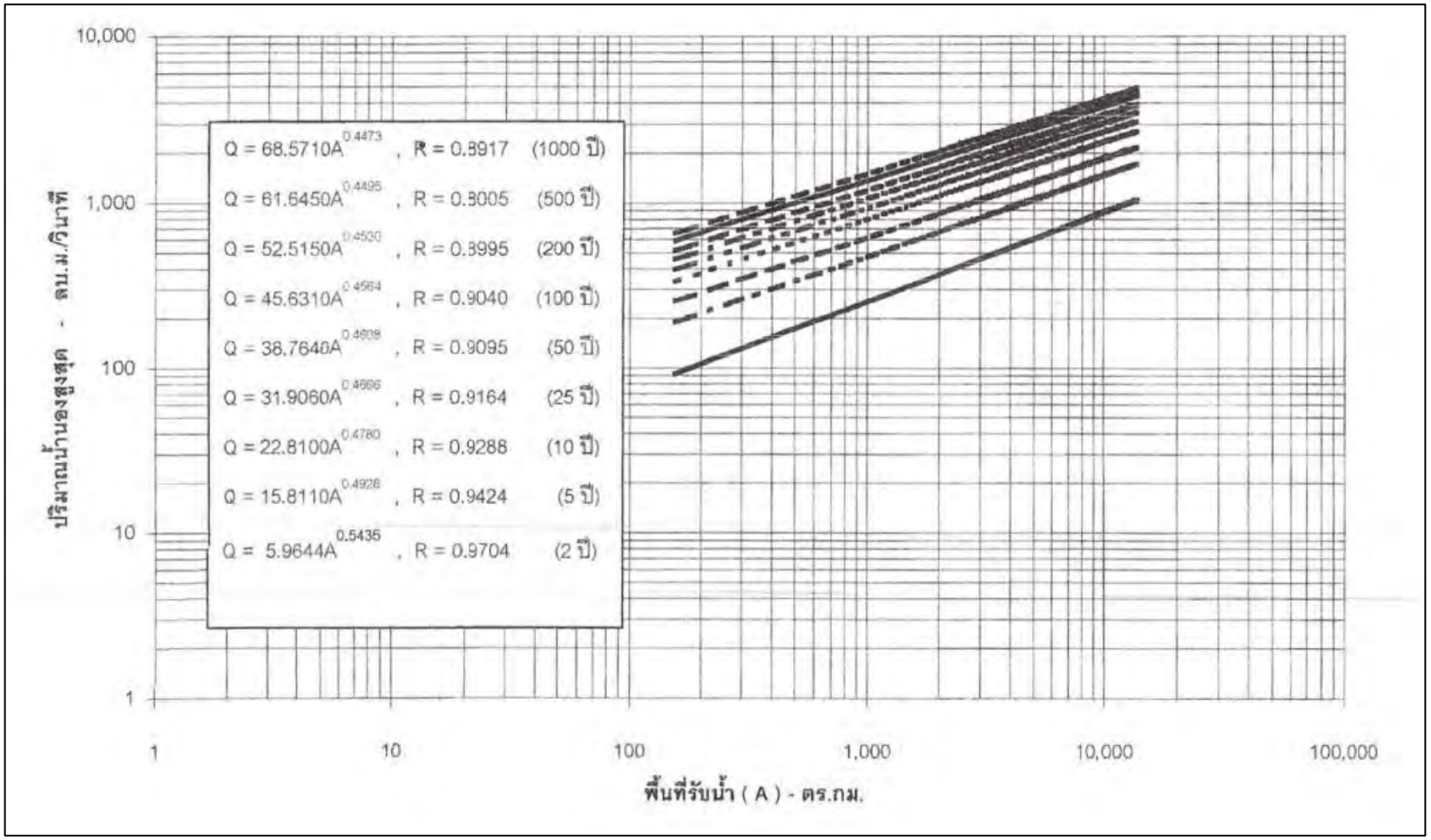
เมื่อ Q_{Tr} = พื้นลุ่มน้ำ หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

a,b = สัมประสิทธิ์สมการถดถอย

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุด (Q_{Tr}) กับพื้นที่รับน้ำ (A) สำหรับลุ่มน้ำต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างใน**รูปที่ 2.1-11** และ**รูปที่ 2.1-12** ซึ่งวิธีการประเมินวิศกรผู้ออกแบบเพียงกำหนดค่าพื้นที่รับน้ำของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด จากนั้นพิจารณาว่าพื้นที่ศึกษาอยู่ในลุ่มน้ำใด ก็ให้แทนค่าขนาดพื้นที่รับน้ำไปในสมการความสัมพันธ์แบบถดถอย (Regression) ของลุ่มน้ำนั้นตามรอบปีการเกิดซ้ำที่ใช้ในการออกแบบ ก็จะสามารถประเมินอัตราการไหลสูงสุดสำหรับการออกแบบได้



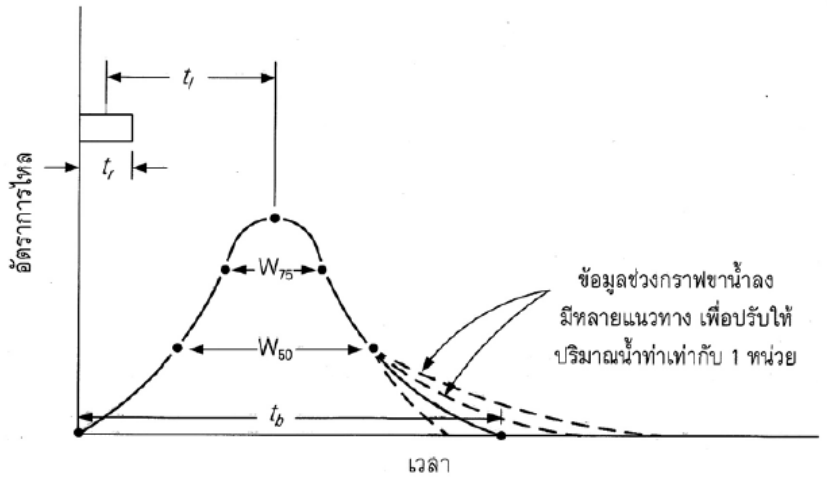
รูปที่ 2.1-11 ตัวอย่างของกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค ของลุ่มน้ำปิงตอนล่าง



รูปที่ 2.1-12 ตัวอย่างของกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค ของลุ่มน้ำยม

(4) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis)

วิธีการนี้เป็นวิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า สำหรับบริเวณพื้นที่ศึกษาซึ่งไม่มีสถานีวัดน้ำท่า โดยจะทำการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าขึ้นมา ซึ่งหลักการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้ถูกนำเสนอโดย Snyder F.F ในปี ค.ศ. 1938 ซึ่งได้นำข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาของพื้นที่รับน้ำแห่งนี้ ซึ่งมีขนาด 10 ถึง 10,000 ตารางไมล์ จากพื้นที่ราบสูงของเทือกเขาแอพพาลาเชี่ยนในสหรัฐอเมริกา มาทำการคำนวณตัวแปรต่างๆ คือ Time Lag ฐานเวลา (Time base) ช่วงเวลาวิกฤตของฝน ดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-13**



รูปที่ 2.1-13 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ตามวิธีของ Snyder

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

1. ช่วงเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด (Time to peak, T_l)

$$T_l = C_t (LL_c)^{0.3}$$

เมื่อ L = คือระยะทางตามแนวลำน้ำสายหลักจากจุดไกลสุด บนสันปันน้ำถึงตำแหน่งที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำ หน่วยเป็นกิโลเมตร

L_c = คือระยะทางตามแนวลำน้ำสายหลัก จากจุดที่ใกล้จากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำมากที่สุด ถึงจุดที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

C_t = คือค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทและที่ตั้งของลำน้ำ

ค่า L และ Lc ประมาณค่าได้จากแผนที่แสดงลักษณะภูมิประเทศ สำหรับค่า Ct จากผลการศึกษาของ Snyder ในพื้นที่ราบสูงแอพพาลาเซี่ยน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 ถึง 2.2

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 Ct = 1.5 ดังนั้น

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

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

$$Q_p = K_p / T_r$$

ค่า q_p = อัตราการไหลสูงสุดของกราฟ 1 หน่วยน้ำท่า มีหน่วยเป็นลิตร /วินาที/ตารางกิโลเมตร

K_p = สัมประสิทธิ์ มีค่าประมาณ 28 ถึง 34 ขึ้นอยู่กับความลาดชันของลุ่มน้ำและพืชที่ปกคลุมดิน

นำ ค่า q_p ไปหาค่าอัตราการไหลสูงสุดจากพื้นที่ด้วยสมการ

$$Q = 0.001 q_p (\alpha I - \phi) \text{ Tr } A$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุดมีหน่วยเป็น ลบ.เมตร/วินาที

α = reduction factor สำหรับลดขนาด point rainfall intensity ในกรณีลุ่มน้ำขนาดใหญ่

I = ความเข้มน้ำฝนมีหน่วยเป็น มม./ ชม. จากกราฟความเข้มน้ำฝน–ช่วงเวลา–ความถี่การเกิดซ้ำ

ϕ = ความสามารถซึมได้ของดิน (Infiltration capacity) มีหน่วยเป็น มม./ชั่วโมง

A = พื้นที่ลุ่มน้ำมีหน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถประเมินได้จาก **ตารางที่ 2.1-7** ถึง **ตารางที่ 2.1-9** และ**รูปที่ 2.1-14**

ตารางที่ 2.1-7 ค่าสัมประสิทธิ์ปริมาณการไหลสูงสุด (Peak Discharge Coefficient) K_p

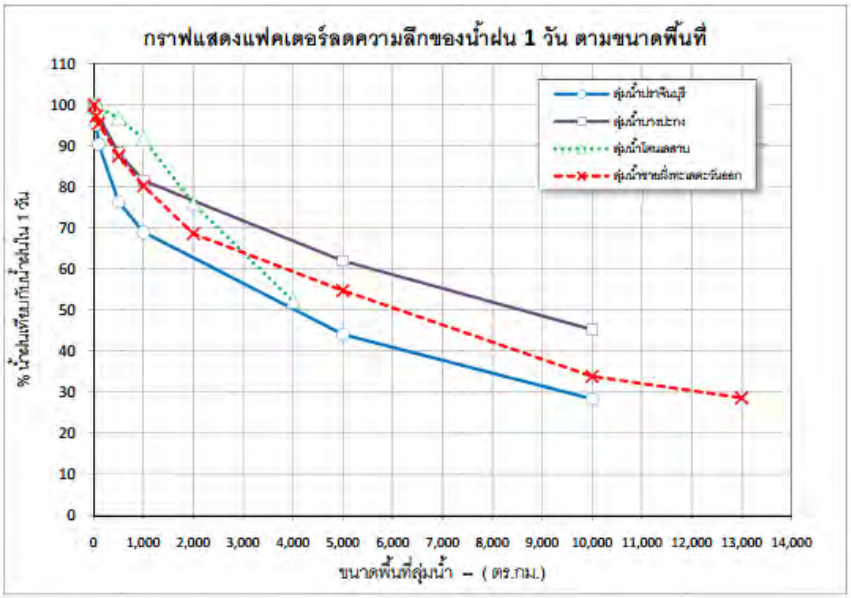
Catchment Topography	Peak Discharge Coefficient K_p
Foothills and gently undulating slopes with forest or grass cover	28-30
Steep forested terrain in the head waters, foothills and plain with a cover of forest or grass in the lower reaches	30-32
Steep forested slopes of high and low mountains	32-34

ตารางที่ 2.1-8 ค่าความสามารถซึมผ่านได้ของดิน (Infiltration capacity) (ϕ)

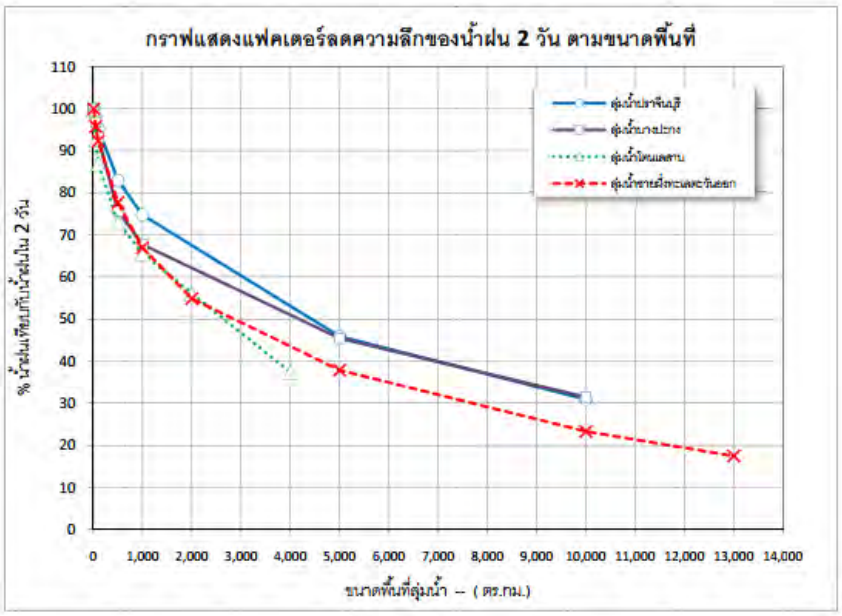
Cover Factor	Type	ϕ(mm/hr)		
		Clays	Clay Loams	Sandy Loams
1.0-2.0	Poor	2-9	4-13	5-20
2.0-4.0	Medium	5-7	8-27	13-45
4.0-8.0	Good	10-35	15-55	25-90

ตารางที่ 2.1-9 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 2.1-14 กราฟแฟคเตอร์ลดน้ำฝนตามขนาดพื้นที่

(5) วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี SCS

วิธีการนี้มีความเหมาะสมในการประเมินปริมาณการไหลสูงสุด (ทั้งขนาดและปริมาตร) ณ จุดพิจารณาที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำระหว่าง 10 ถึง 2,500 ตารางกิโลเมตร ซึ่งโดยทั่วไป ณ จุดพิจารณาที่มีสถานีตรวจวัด กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสามารถประเมินได้จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ตรวจวัดได้โดยตรง อย่างไรก็ตามสำหรับจุดพิจารณาที่ไม่มีข้อมูลตรวจวัดน้ำ (Ungauged Catchment) ต้องใช้วิธีสังเคราะห์กราฟหนึ่งน้ำท่า (Synthetic Unit Hydrograph) มาใช้วิเคราะห์ โดยประกอบด้วยหลายวิธี เช่น วิธี Snyder วิธี Modified Snyder และวิธี SCS เป็นต้น สำหรับเนื้อหาที่จะขอนำเสนอในส่วนนี้ จะเป็นการนำวิธี SCS ของหน่วยงานอนุรักษ์ดิน (Soil Conservation Service, SCS) แห่งสหรัฐอเมริกา มาประยุกต์ใช้คำนวณหากราฟน้ำท่าที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ โดยวิธี Unit Hydrograph ซึ่งแปลงค่าน้ำฝนที่เหลือจากการซึมลงดิน (Rainfall excess) ที่เกิดในช่วงเวลาหนึ่งทั่วพื้นที่รับน้ำฝนให้เป็นน้ำท่าไหลบนดิน โดยผลการคำนวณจะแสดงออกมาในรูปของกราฟน้ำท่าดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-15** ซึ่งเป็นผลรวมของปริมาณฝนส่วนเกิน (Rainfall excess) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งๆ หรือหลายช่วงต่อเนื่องกัน โดยอัตราการไหลสูงสุด ก็คือ ยอด (Peak) ของกราฟน้ำท่านั้นๆ

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี 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)

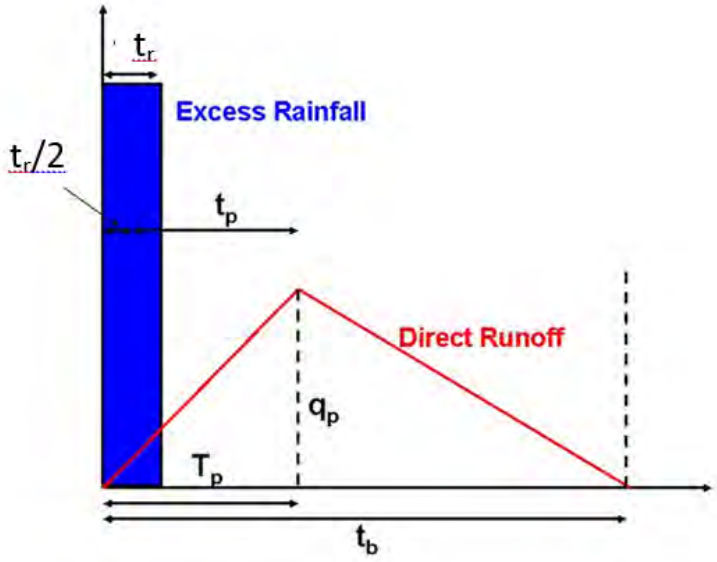
A = ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

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 2.1-15 ลักษณะของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าด้วยวิธี SCS (Soil Conservation Service, 1972)

ภายหลังที่ได้ทำการคำนวณ q_p และ t_p แล้ว สามารถนำมาสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) จากข้อมูลกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าแบบไร้มิติ (Dimensionless Unit Hydrograph) ของหน่วยงาน SCS (Soil Conservation Service) ได้ โดยใช้ข้อมูลตาม**ตารางที่ 2.1-10** ที่ได้จัดทำขึ้นจากการศึกษากราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจำนวนหลายพื้นที่ ซึ่งมีขนาดและลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่รับน้ำฝนแตกต่างกัน และในขั้นตอนสุดท้ายเมื่อสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าได้แล้ว ให้นำข้อมูลฝนส่วนเกิน หรือฝนออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (ในหน่วยความลึก) มาคูณกับคู่ลำดับของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าที่สร้างขึ้น ผลที่ได้คือ กราฟน้ำท่าของปริมาณฝนที่ออกแบบ โดยอัตราการไหลสูงสุดคือ จุดสูงสุด (Peak) ของกราฟน้ำท่านั่นเอง

ตารางที่ 2.1-10 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

(6) วิธี Slope-Area Method

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

- สำรวจลักษณะทางกายภาพของลำน้ำและรูปตัดลำน้ำ อย่างน้อย 3 แห่ง (คือตำแหน่งที่ต้องการประเมินอัตราการไหลสูงสุด ตำแหน่งเหนือน้ำ และตำแหน่งท้ายน้ำ) บนช่วงลำน้ำ ซึ่งยาวไม่น้อยกว่า 75 เท่าของความลึกของน้ำ และช่วงความยาวดังกล่าวของลำน้ำระดับน้ำด้านท้ายน้ำควรต่ำกว่าระดับน้ำด้านเหนือน้ำไม่น้อยกว่า Velocity Head ($V^2/2g$) หรือไม่น้อยกว่า 0.15 เมตร
- เก็บข้อมูลระดับน้ำในลำน้ำที่ระดับสูงสุด ที่สังเกตได้หรือจากการสอบถามประชาชนในพื้นที่
- ประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ (Manning's n) ซึ่งขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ดังแสดงใน**ตารางที่ 2.1-11**
- ทำการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี Slope Area ซึ่งจะมีพื้นฐานมาจากมีสมการของ Manning ดังนี้

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

ให้ $K = (1/n)AR^{2/3}$

จะได้ $Q = KS^{1/2}$

ดังนั้นสมการสำหรับคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี Slope Area Method ได้ดังต่อไปนี้

สมการ Slope Area $Q = K_w S_f^{1/2}$

เมื่อ $K_w = \sqrt{K_{\text{เหนือน้ำ}} * K_{\text{ท้ายน้ำ}}}$

$h_v = \alpha * V^2/2g$

เมื่อ $\alpha = \Sigma(K^3/A^2) * \Sigma(A^2) / \Sigma(K^3)$

$\Delta h_v = h_{v\text{เหนือน้ำ}} - h_{v\text{ท้ายน้ำ}}$

Δh = ระดับน้ำเหนือน้ำ – ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

ในกรณีที่ Δh_v มีค่าเป็นบวก $h_f = \Delta h + 0.5 * \Delta h_v$

ในกรณีที่ Δh_v มีค่าเป็นลบ $h_f = \Delta h + \Delta h_v$

$S_f = h_f/L_m$

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 2.1-11 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
มีวัชพืชหนาแน่น แอ่งลึก ที่ลุ่มน้ำท่วมมีต้นไม้ขึ้นหนาแน่น	0.075-0.150
ลำน้ำธรรมชาติบนภูเขา	
พื้นที่มีกรวด หิน หินก้อนบ้างเล็กน้อย ไม่มีวัชพืช	0.030-0.050
พื้นมีหิน และหินก้อนใหญ่ (Boulder) อยู่ทั่วไป	0.040-0.070

2.1.2.2. ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์ เป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่จะนำมาใช้ในการออกแบบขนาดอาคารระบายให้สามารถรองรับกับปริมาณการไหลที่กำหนดได้ ดังนั้นในการศึกษาทบทวนทฤษฎีด้านชลศาสตร์ ทางที่ปรึกษาจะนำเสนอในครั้งนี้ ประกอบไปด้วย ทฤษฎีการไหลในทางน้ำเปิดเพื่ออธิบายพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำ และทฤษฎีการไหลผ่านท่อลอดซึ่งนำมาใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ โดยรายละเอียดของทั้ง 2 ทฤษฎีดังกล่าว แสดงได้ดังนี้

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 การไหลด้วยอัตราคงที่ผ่านท่อที่มีขนาดค่อยๆ ขยายใหญ่ขึ้น

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

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

อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่แล้วการวิเคราะห์การไหลในทางน้ำเปิดที่นิยมใช้ในทางวิศวกรรมจะเป็นการไหลคงตัวแบบสม่ำเสมอ 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) 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 2.1-16a**) แต่น้ำที่ไหลเข้าท่อจะไหลได้ไม่เต็มท่อ ลักษณะการไหลของน้ำเหมือนกับการไหลผ่านรูเปิด (Orifice) หรือไหลลอดใต้บานประตูระบายน้ำ (Sluice gate) จึงเรียกว่า Orifice flow โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสามารถคำนวณได้จากสมการ

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

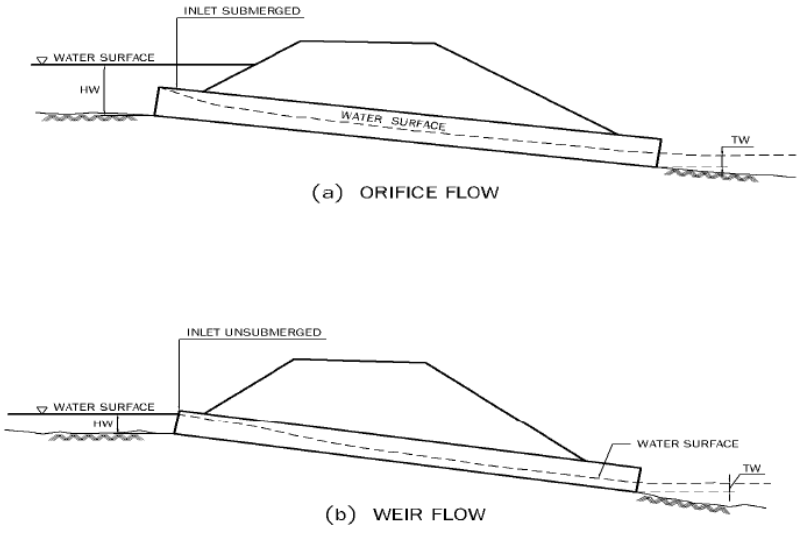
เมื่อ Q คือ อัตราการไหลผ่านท่อ (ลบ.เมตร/วินาที)
C_d คือ สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล (โดยทั่วไปกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.611)
A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร)
g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที)
h คือ ความสูงวัดจากระดับน้ำถึงจุดศูนย์กลางท่อ (เมตร)
H_w คือ ความสูงวัดจากระดับผิวน้ำหน้าท่อถึงธรณีปากท่อ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

(1.2) Weir Flow

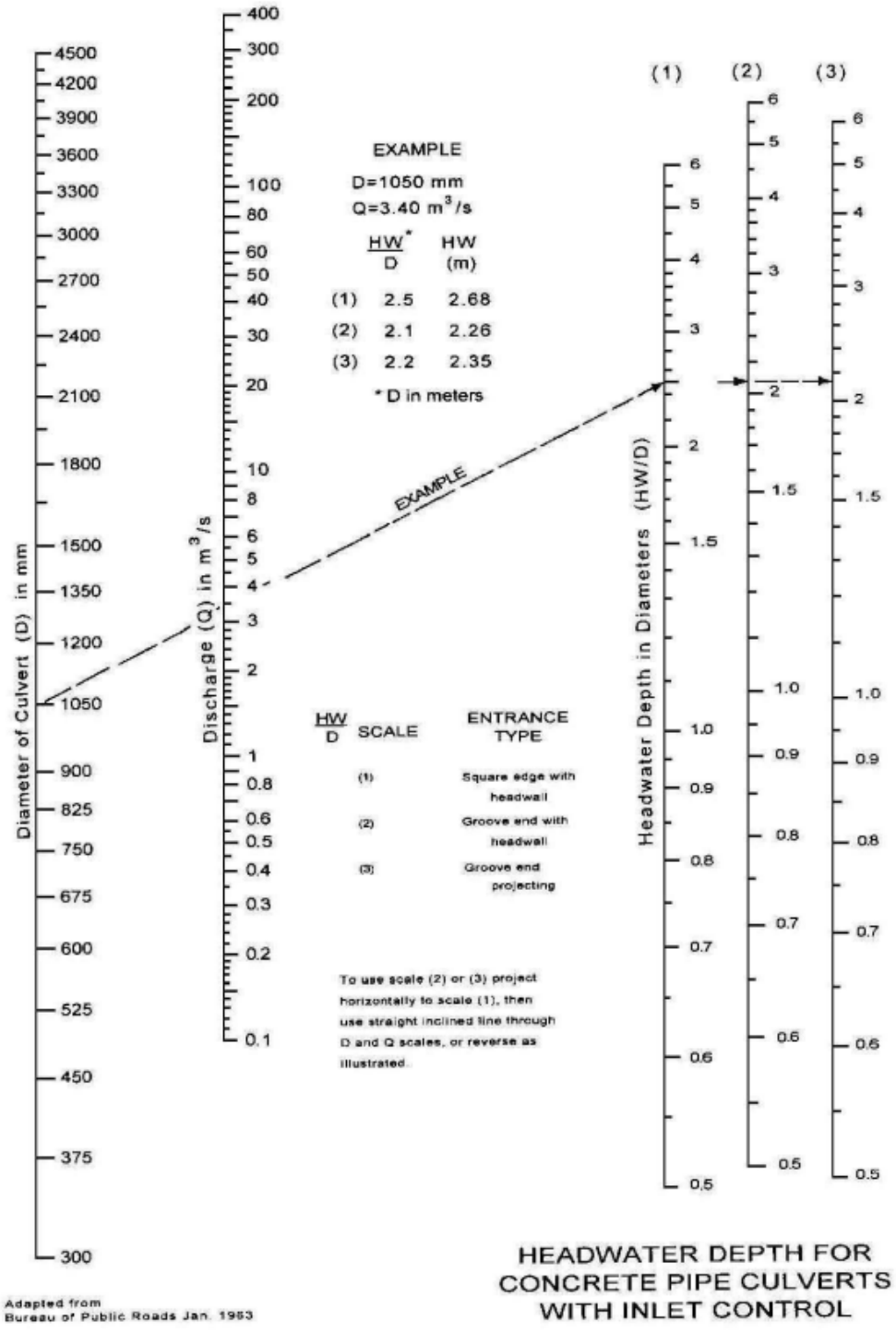
การไหลแบบ Weir Flow นี้ ระดับน้ำทางปากท่อจะไม่สูงท่วมปากท่อ (**รูป 2.1-16b**) และความลาดเอียงของท่อจะเป็นแบบชัน (Steep Slope) คือ ความลาดเอียงที่ทำให้การไหลในสภาพ Uniform Flow เป็นแบบ Supercritical Flow ความลาดเอียงนี้จะมีค่ามากกว่าความลาดเอียงวิกฤติ หรือ Critical Slope ซึ่งเป็นความลาดเอียงที่ทำให้เกิดการไหลแบบ Critical Flow สำหรับการไหลชนิดนี้ สมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำไม่มีรูปแบบแน่นอนเหมือนแบบ Orifice Flow แต่จะขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของท่อด้วย

จาก**รูปที่ 2.1-16** จะเห็นได้ว่า การไหลผ่านท่อลอดแบบ Inlet Control ทั้ง 2 แบบ น้ำจะไหลไม่เต็มท่อและระดับน้ำปลายท่อ (Tail water) จะไม่สูงท่วมหลังท่อ ทั้งนี้เกิดจากท่อมีลักษณะความลาดเอียงมาก

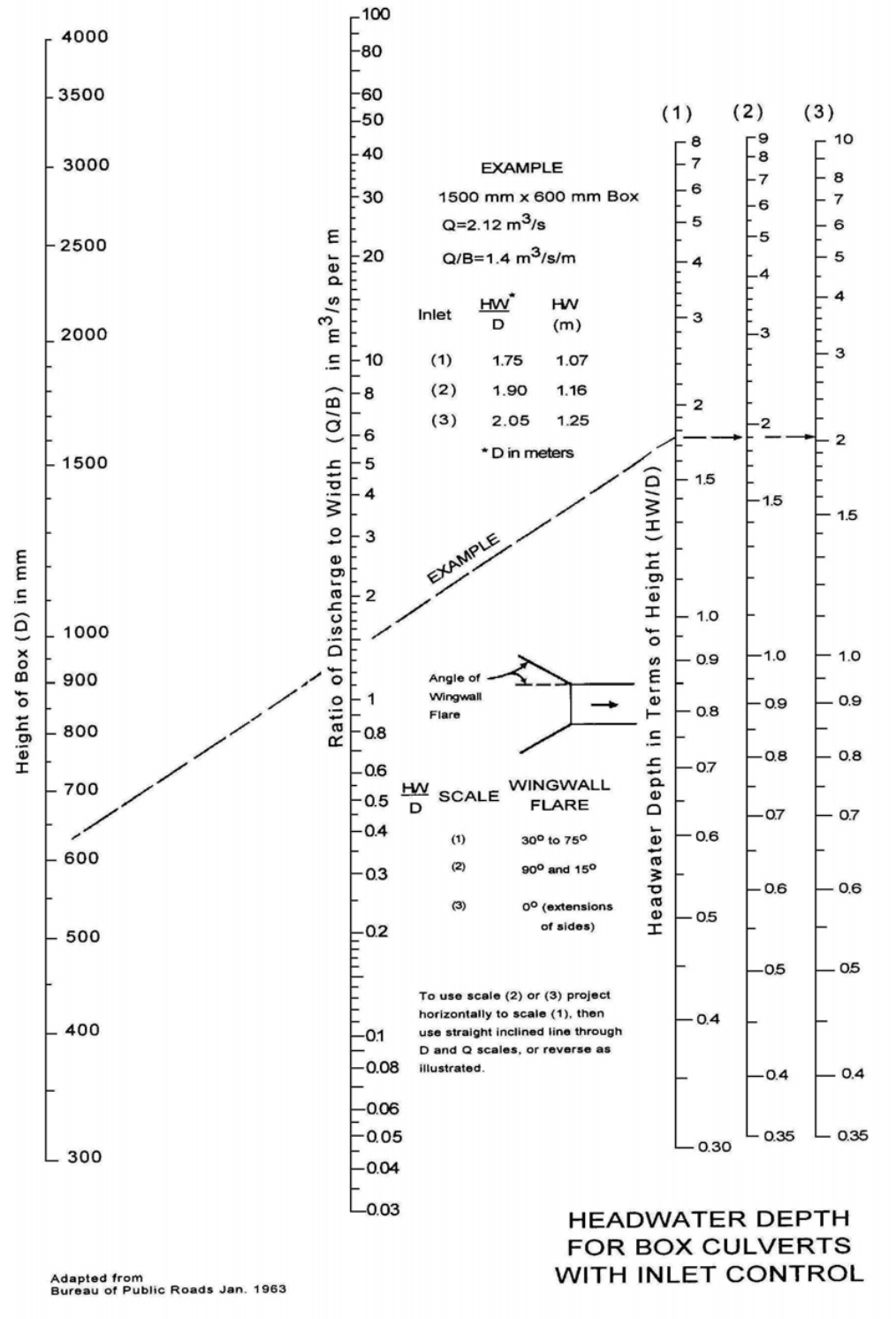
สำหรับแผนภูมิคำนวณหาความลึกของระดับน้ำด้านปากท่อ (Headwater Depth) ที่ใช้ในการออกแบบ สำหรับการไหลแบบ Inlet Control ได้แสดงใน**รูปที่ 2.1-17** และ**รูปที่ 2.1-18** สำหรับท่อกลมคอนกรีตและท่อสี่เหลี่ยม ตามลำดับ



รูปที่ 2.1-16 การไหลผ่านท่อลอดแบบ Inlet Control



รูปที่ 2.1-17 แผนภูมิการคำนวณความลึกการไหลของระดับน้ำปากท่อ สำหรับท่อกลมกรณีการไหลแบบ Inlet Control



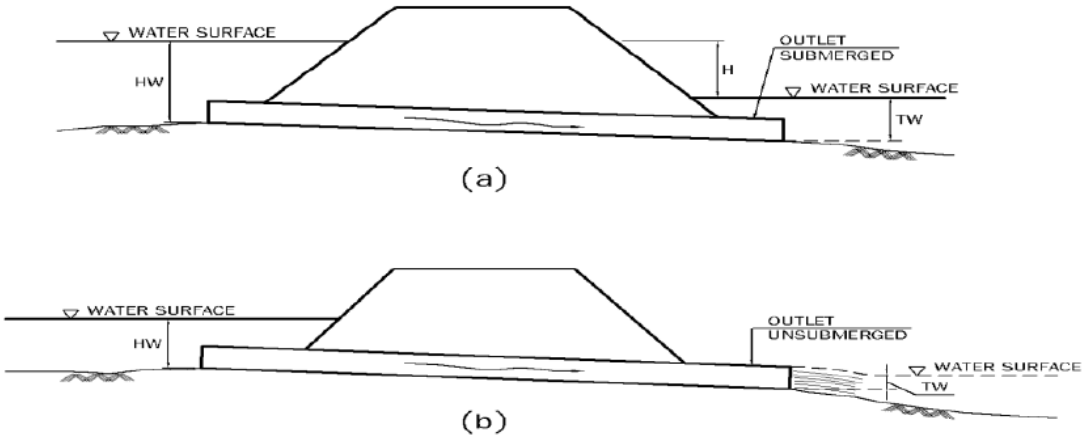
รูปที่ 2.1-18 แผนภูมิการคำนวณความลึกการไหลของระดับน้ำปากท่อ สำหรับท่อเหลี่ยมกรณีการไหลแบบ Inlet Control

(2) การไหลผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control

การไหลแบบ Outlet Control จะมีปริมาณการไหลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายชนิดด้วยกัน เช่น ความลาดเอียงของท่อ ความหยาบผิว ความแตกต่างของระดับน้ำปากท่อกับปลายท่อ และลักษณะขอบปากท่อ เป็นต้น ซึ่งในการไหลแบบ Outlet Control สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

(2.1) การไหลแบบเต็มท่อ (Full Pipe Flow)

การไหลแบบน้ำเต็มท่อ (Full Pipe Flow) การไหลนี้น้ำจะเต็มท่อแรงดันของน้ำภายในท่อจะสูงกว่าความดันบรรยากาศ ที่ปากท่อระดับน้ำจะสูงกว่าขอบบนของท่อ แต่ที่ปลายท่อระดับน้ำอาจจะท่วมหลังท่อ (**รูปที่ 2.1-19a**) หรือไม่ท่วมหลังท่อ (**รูปที่ 2.1-19b**)



รูปที่ 2.1-19 ลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลเต็มท่อ

การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ โดยมากจะใช้สมการพลังงาน (Energy Equation) โดยถือว่าพลังงานที่สูญเสียไปทั้งหมดจะเท่ากับผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ นั่นคือ

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

โดยที่

H คือ ผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ (เมตร)

Ke คือ สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ (ประเมินได้จาก**ตารางที่ 2.1-12**)

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)

จากสมการข้างต้นสามารถนำมาออกแบบอัตราการไหลผ่านท่อลอดกรณีการไหลแบบน้ำเต็มท่อได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดขนาด ความยาว และความลาดชันของท่อที่จะนำมาใช้
2) คำนวณความเร็วการไหลในท่อ กรณีการไหลแบบเต็มท่อ
3) คำนวณผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ จากสมการข้องต้น
4) ใช้แผนภูมิการไหลกรณีแบบเต็มท่อใน**รูปที่ 2.1-20** (ท่อกลม) และ**รูปที่ 2.1-21** (ท่อเหลี่ยม) คำนวณอัตราการไหลผ่านท่อลอด ซึ่งมีธีการดังนี้
    a. ลากเส้นตรงเชื่อมต่อระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกับความยาวท่อ ผ่านแนวเส้น Turing Line
    b. ลากเส้นตรงจากค่าผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ ผ่านจุดตัดบนเส้น Turing Line ที่ได้จากการลากเส้นตามข้อ 4.1 ไปตัดบนแกน Discharge ด้านซ้ายมือ
    c. จุดตัดบนแกน Discharge คืออัตราการไหลผ่านท่อลอด ภายใต้เกณฑ์การออกแบบของขนาด ความยาว และความลาดชันของท่อที่กำหนด

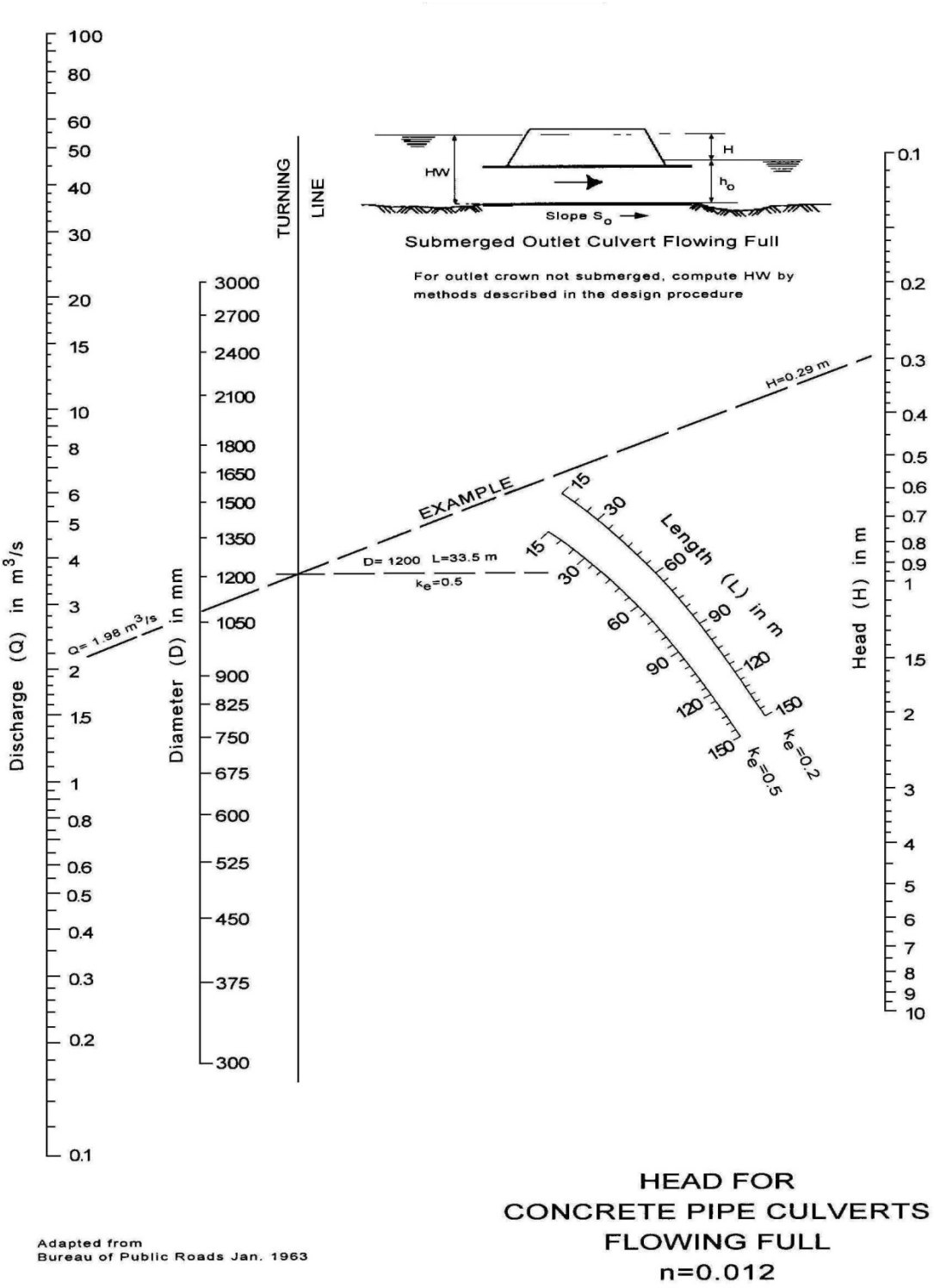
ตารางที่ 2.1-12 ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ (Ke)

ประเภทของโครงสร้างและการออกแบบที่ปากท่อ	สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ Ke
● Pipe, Concrete	
Projecting from fill, socket end (groove – end)	0.2
Projecting from fill, sq.cut end	0.5
Headwall or headwall and wingwalls	
Socket end of pipe (groove-end)	0.2
Square-edge	0.5
Rounded (radius = D/12	0.2
Mitered to conform to fill slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edger, 33.7^0 or 45^0 bevels	0.2
Side-or slope-tapered inlet	0.2
● Pipe, or Pipe-Arch Corrugated Metal	
Projecting from fill (no headwall)	0.9
Headwall or headwall and wingwalls square-edge	0.5
Mitered to conforming to fill slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges,33.7^0 or 45^0 bevels	0.2
Side-or slope-tapered inlet	0.2
● Box, Reinforced Concrete	
Headwall parallel to embankment (no wingwalls)	
Square-edged on 3 edges	0.5
Rounded on 3 edges to radius of D/12 or B/12 or beveled edges on 3 sides	0.2
Wingwalls at 30^0 to 75^0 to barrel	
Square-edged at crown	0.4
Crown edged rounded to radius of D/12 or beveled top edge	0.2

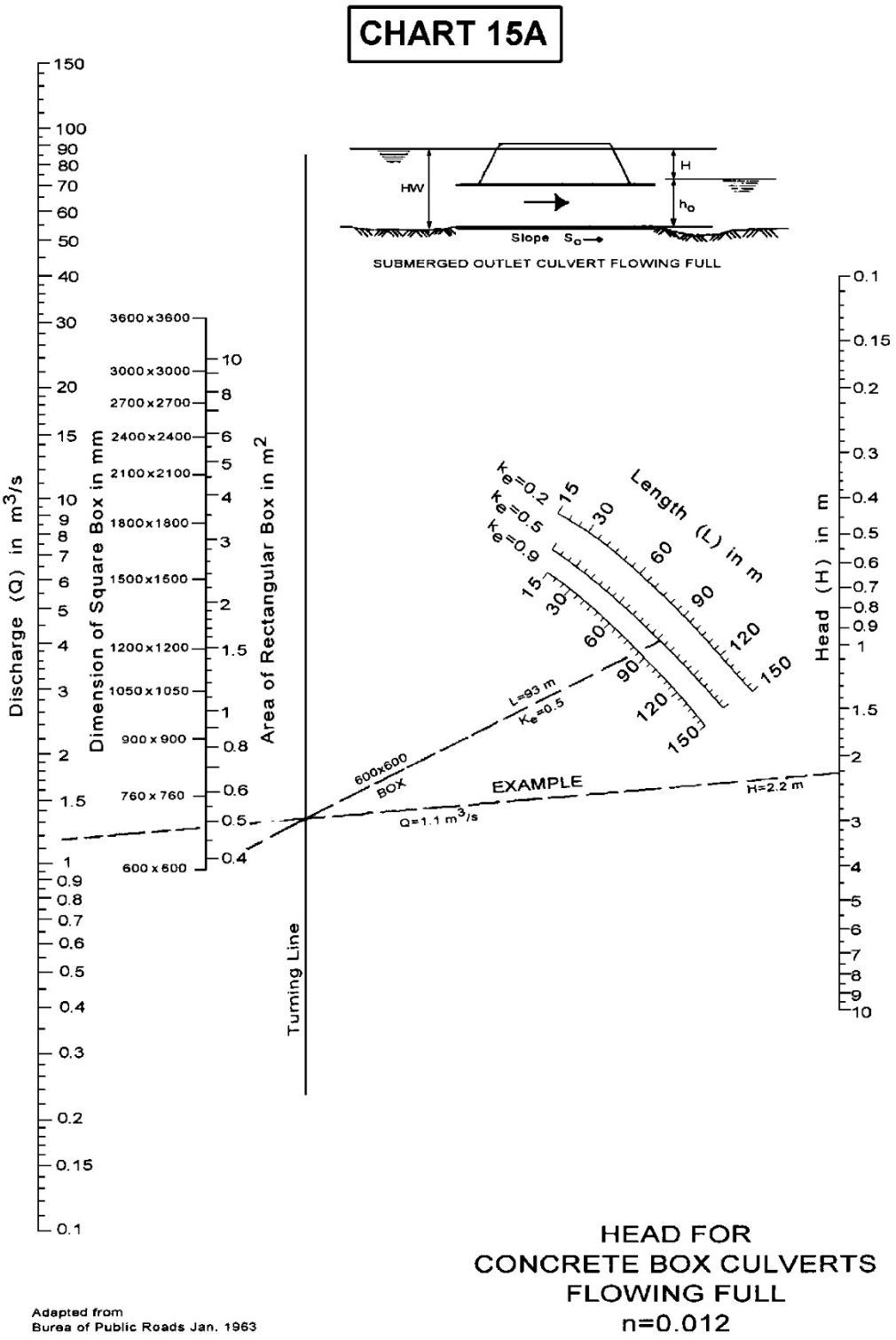
ตารางที่ 2.1-12 (ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ (Ke)

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 2.1-20 แผนภูมิคำนวณหาผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ สำหรับท่อคอนกรีตกลม ลักษณะการไหลแบบ Outlet Control

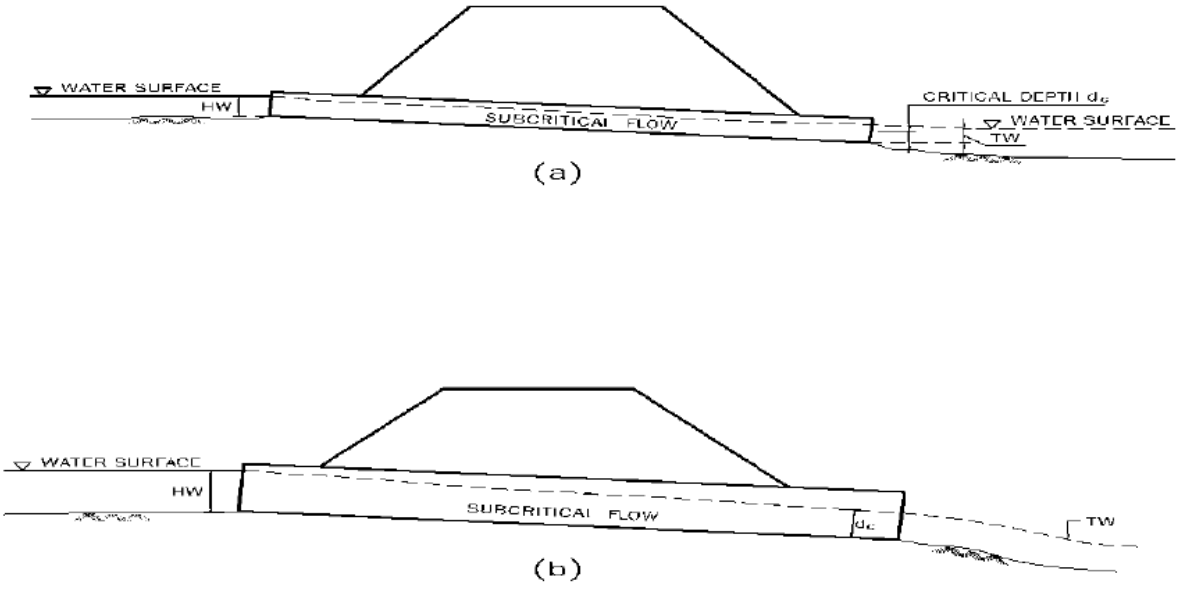


รูปที่ 2.1-21 แผนภูมิคำนวณหาผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ สำหรับท่อเหลี่ยม ลักษณะการไหลแบบ Outlet Control

(2.2) การไหลแบบน้ำไม่เต็มท่อ (Partly Full Flow)

การไหลลักษณะนี้ความลาดเอียงของท่อจะต้องเป็นแบบลาด (Mild Slope คือ ความลาดเอียงแบบลาดจะมีค่าน้อยกว่าความลาดเอียงแบบวิกฤติ (Critical Slope) ซึ่งการไหลบน Mild Slope นี้จะเป็นแบบ Subcritical Flow หรือการไหลที่มี Froude Number น้อยกว่า 1 และปากท่อจะไม่จม (Submerged) ใต้ระดับน้ำ แบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกระดับท้ายน้ำสูงกว่าระดับความลึกวิกฤติ (Critical Depth) ก่อนถึงปลายท่อ (**รูปที่ 2.1-22a**) การไหลจะเป็นแบบ Subcritical Flow ตลอดความยาวท่อ อีกประเภทหนึ่ง (**รูปที่ 2.1-22b**) ระดับท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับความลึกวิกฤติ ระดับน้ำจะโค้งต่ำลงตรงปลายท่อ และจะมีหน้าตัดหนึ่ง ซึ่งความลึกของน้ำเท่าความลึกวิกฤติพอดี

การคำนวณหาปริมาณน้ำในกรณีเป็น Outlet Control และน้ำไหลไม่เต็มท่อนี้เป็นเรื่องยุ่งยากมากดังนั้นในการออกแบบจึงมักจะหลีกเลี่ยงการไหลประเภทนี้เสมอ



รูปที่ 2.1-22 ลักษณะการไหลผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลไม่เต็มท่อ

(3) การออกแบบป้องกันการกัดเซาะ

(3.1) ความเร็วภายในท่อ

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

(3.2) ความเร็วที่ปลายท่อ

ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อ ไม่ควรจะให้สูงจนทำให้เกิดการกัดเซาะพื้นขึ้นได้ เว้นเสียแต่จะมีการทำโครงสร้างเพื่อใช้ป้องกันการกัดเซาะ ความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่พื้น 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.หรือปลูกหญ้า 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

ความลาดเอียงของท่อลอดควรออกแบบให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับความลาดเอียงของพื้นลำธาร ความลาดเอียงที่น้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5% (1 on 200) ถึง 0.33% (1 on 300) ถ้าเป็นไปได้ควรวางท่อให้เอียงประมาณ 1% หรือมากกว่า เพื่อที่การไหลจะได้อยู่ในลักษณะของการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

ในกรณีการไหลแบบ Inlet Control ความลาดเอียงสูงสุดที่ยอมให้ไม่ควรเกิน 15% เนื่องจากจะทำให้ความเร็วของน้ำในท่อสูง (ดัง**ตารางที่ 2.1-13** และ **ตารางที่ 2.1-14**) จนทำให้ท่อเกิดการสึกกร่อนได้

ตารางที่ 2.1-13 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 2.1-14 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 แล้วตรวจสอบดูว่าน้ำจะสามารถไหลผ่านได้ตามอัตราที่กำหนดไว้หรือไม่ ปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีการเช่นนี้ คือ ในขั้นแรกเราไม่ทราบว่าลักษณะการไหลจะเป็นแบบ Inlet Control หรือ Outlet Control โดยทั่วไปถ้าความลาดเอียงของท่อเท่ากับหรือมากกว่า 1% การไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้าน้อยกว่า 0.5% จะเป็นแบบ Outlet Control แต่เพื่อความแน่นอนจะต้องทดสอบลักษณะการไหลเสมอ

2.1.3. ทฤษฎีของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางด้านคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลสำหรับระบบระบายน้ำ ทั้งการไหลของระบบระบายน้ำข้างทาง และระบบระบายน้ำตามขวาง สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย แบบจำลองการไหลแบบ 1 มิติ และแบบจำลองการไหลแบบ 2 มิติ โดยมีรายละเอียดของทฤษฎีสำหรับแบบจำลองทั้ง 2 ประเภท ดังนี้

2.1.3.1. ทฤษฎีของแบบจำลองการไหลแบบ 1 มิติ

แบบจำลองการไหลแบบ 1 มิติ จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการไหลสำหรับระบบระบายน้ำข้างทาง และการไหลของน้ำที่ยังอยู่ในลำน้ำหรือทางระบายน้ำ ก่อนที่จะไหลล้นเข้าท่วมพื้นที่ ซึ่งการจำลองสภาพการไหลของน้ำในลำน้ำหรือในท่อระบายน้ำจะมีลักษณะการไหลประเภท Unsteady Non-uniform Flow โดยจะใช้สมการการไหลของเซนท์ วีแนนท์ (Saint Venant Equation) แบบมิติเดียว (One Dimension Flow) ในการคำนวณ ซึ่งอัตราการไหล และระดับน้ำ สามารถคำนวณได้ในรูปฟังก์ชั่นของเวลาและระยะทาง สำหรับสมการการไหลของเซนท์ วีแนนท์ (Saint Venant Equation) ประกอบด้วย

สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) หรือสมการสมดุลมวล (Mass Conservation):

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=q \qquad (1)$$

และสมการโมเมนตัม (Momentum Equation):

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{Q^2}{A^2}\frac{\partial A}{\partial x}+gA\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{gn^2Q|Q|}{AR^{\frac{4}{3}}}=0 \qquad (2)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหล (Discharge)
x = ระยะทางของการไหล (Distance)
A = พื้นที่หน้าตัดการไหล (Cross Sectional Area)
t = เวลาการไหล (Time)
q = อัตราการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Flow)
H = ระดับน้ำ (Water Level) = h + z
h = ความลึกการไหล (Water Depth)
z = ระดับท้องน้ำ (Bed Elevation)
R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius)
g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Gravitational Acceleration)
n = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแมนนิ่ง (Manning Roughness Coefficient)

สำหรับสมการ Saint Venant มีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

1) น้ำมีลักษณะที่ไม่สามารถถูกกดอัดได้ (Incompressible) และเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) แสดงว่าความหนาแน่นของน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง
2) การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ (One Dimension Flow) โดยความลึก และความเร็วในการไหลเปลี่ยนแปลงในทิศทางตามยาวของลำน้ำ แสดงว่าความเร็วการไหลมีค่าคงที่ และผิวน้ำอยู่ในแนวระดับกับหน้าตัดใดๆ
3) ความลาดชันของท้องคลองมีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่า Cosine ของมุมที่ทำกับแนวระดับจะมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง
4) การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดตามยาวของลำน้ำไม่มากนัก
5) ทิศทางการไหลในทุกๆ จุด จะมีทิศทางขนานกับท้องลำน้ำ แสดงว่าความเร่งในแนวดิ่งจะไม่ถูกนำมาพิจารณา

2.1.3.2. ทฤษฎีการไหลของแบบจำลองแบบ 2 มิติ

สำหรับแบบจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมและการไหลในทุ่งน้ำท่วมแบบ 2 มิติ ได้ ซึ่งลักษณะการไหลแบบ 2 มิติ จะถูกนำมาใช้เมื่อน้ำล้นจากลำน้ำและไหลบ่าบนพื้นดินหรือไหลผ่านอาคารระบายน้ำแบบตามขวาง ซึ่งแบบจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมแบบ 2 มิติ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอนุรักษ์พลังงานและสมการโมเมนตัม (Conservation of Mass and Momentum Equation) ดังนี้

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t}+\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial q}{\partial y}=\frac{\partial d}{\partial t} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\partial p}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p^2}{h}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{pq}{h}\right)+gh\frac{\partial \zeta}{\partial x}\\&+\frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2-h^2}-\frac{1}{P_w}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(h\tau_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(h\tau_{xy}\right)\right]-\Omega_q\\&-fVV_x+\frac{h}{P_w}\frac{\partial}{\partial x}\left(p_a\right)=0\end{aligned} \tag{4}$$

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

(5)

โดยที่ h (x, y, t) คือ ความลึกน้ำ (= ξ, -d, m)

d (s, y, t) คือ ความลึกน้ำที่ผันแปรตามเวลา (ม.)

ξ (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, Vx, Vy (x, y, t) คือ ความเร็วลมและส่วนประกอบในแนว x และ y (ม./วินาที)

Ω (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)

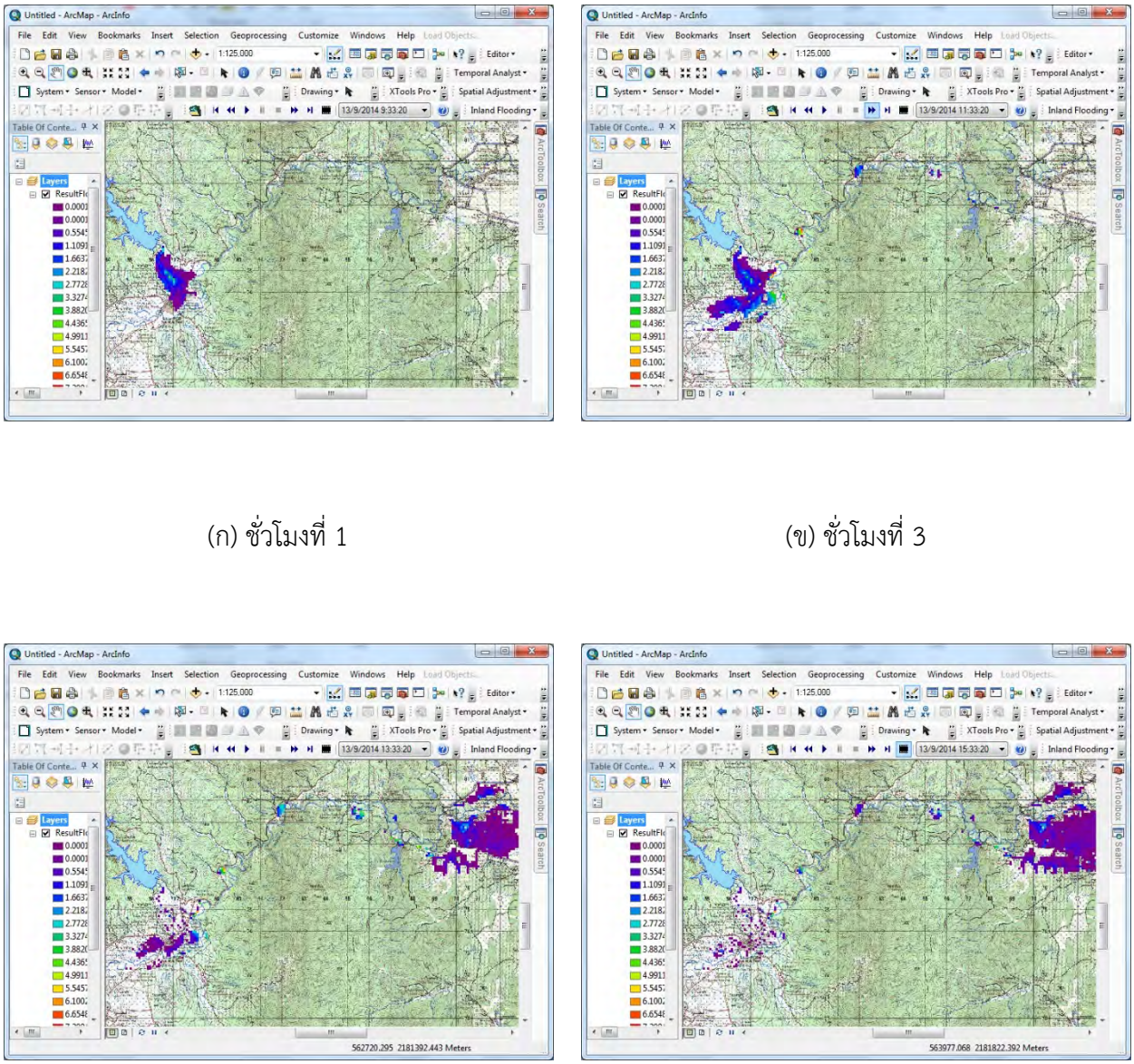
x, y คือ พิกัดเชิงพื้นที่ (ม.)

t คือ เวลา (วินาที)

τ_{xx}, τ_{xy}, τ_{yy} คือ ส่วนประกอบของแรงกดทางข้างประสิทธิผล

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

การศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำหลากในบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและทันสมัย สำหรับทำการคำนวณและแสดงผลแบบ 2 มิติ (2-Dimensional) จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ 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 แสดงดัง**รูปที่ 2.1-23** ทำให้ทราบขอบเขตแผนที่น้ำท่วมและแผนที่ความเร็วกระแสน้ำ เมื่อมีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่แตกต่างกัน ดังนั้น แบบจำลอง MIKE FLOOD จะรวมเอาคุณสมบัติเด่นของ MIKE11 และ MIKE21 เข้าด้วยกัน ทำให้การจำลองมีความใกล้เคียงกับเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้น



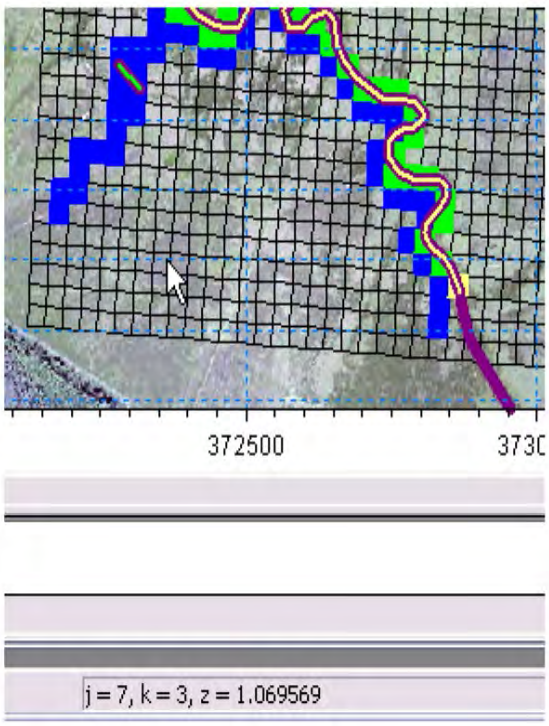
(ก) ชั่วโมงที่ 1 (ข) ชั่วโมงที่ 3

(ค) ชั่วโมงที่ 5 (ง) ชั่วโมงที่ 7

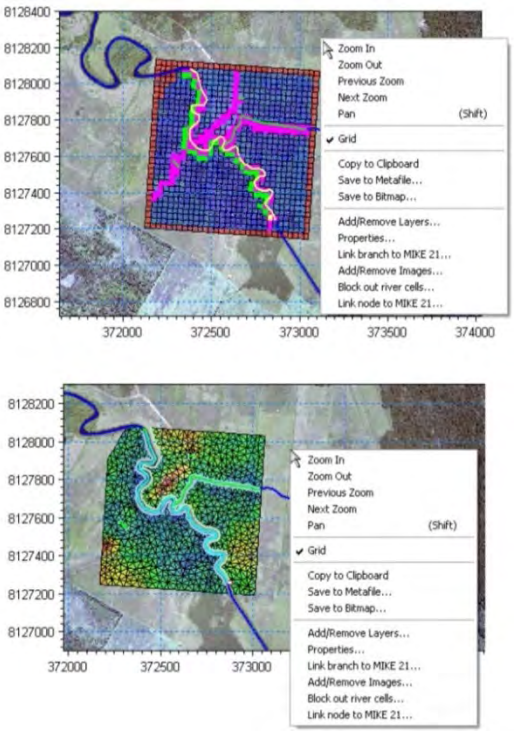
รูปที่ 2.1-23 ตัวอย่างการจำลองการไหลในช่วงเวลาต่างๆ ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนด ด้วยแบบจำลอง MIKE FLOOD และโปรแกรม ArcGIS 10

สำหรับจุดเด่นของแบบจำลอง MIKE FLOOD สามารถสรุปได้ดังนี้

1) สามารถคำนวณการไหลแบบ 1 มิติ โดยใช้สมการ Saint-venant (สมการโมเมนตัมและสมการความต่อเนื่อง) รวมไปถึงการคำนวณการไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ต่างๆ และสิ่งกีดขวางลำน้ำ เช่น ฝาย ประตูระบายน้ำ ท่อลอด เครื่องสูบน้ำ แก้มลิง สะพาน
2) ใช้แบบจำลอง NAM เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าจากฝน
3) การคำนวณการไหลแบบ 2 มิติ ดังแสดงตัวอย่างใน**รูปที่ 2.1-24** สามารถคำนวณแบบกริดสี่เหลี่ยมและแบบ Mesh Network เนื่องจากการคำนวณการไหลแบบ 2 มิติ ต้องจำลองพื้นที่ศึกษาในรูปแบบพื้นที่เล็กๆ ต่อกัน ทั้งนี้แบบจำลอง MIKE FLOOD สามารถจำลองพื้นที่ในการคำนวณเป็นรูปแบบกริด แต่เนื่องจากแม่น้ำมีความคดเคี้ยว การจำลองพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ริมแม่น้ำอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ปัจจุบันแบบจำลอง MIKE FLOOD สามารถจำลองพื้นที่ของการไหล 2 มิติ แบบ Mesh ซึ่งสามารถจำลองพื้นที่ริมแม่น้ำที่มีความคดเคี้ยวใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ดัง**รูปที่ 2.1-25**
4) สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม ArcGIS ได้โดยการเตรียมข้อมูลนำเข้าและการแสดงผลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยที่โปรแกรม MIKE FLOOD มี Plugin ที่แสดงผลผ่านโปรแกรม ArcGIS ดัง**รูปที่ 2.1-26** 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 ตู้ ปณ.4 คลองหลวง ปทุมธานี 12120 โทรศัพท์ 02-524-5564 โดยสามารถติดต่อสอบถามปัญหาการใช้งานกับผู้เชี่ยวชาญได้ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ



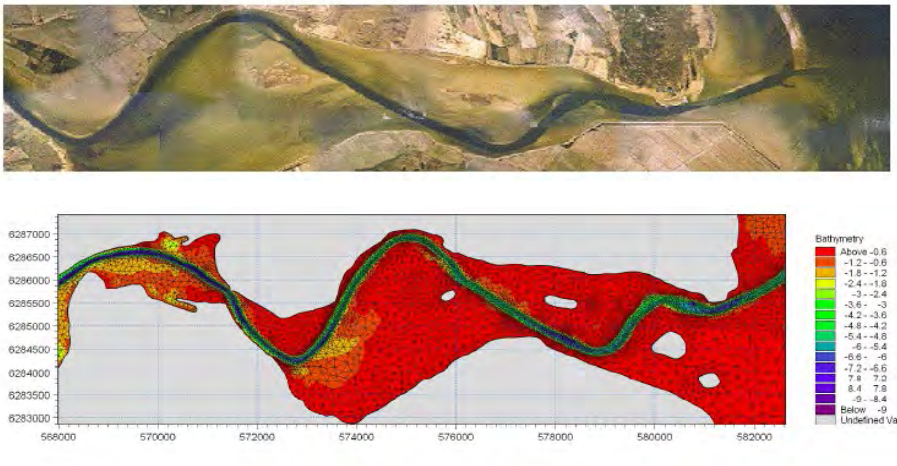
(ก) รูปแบบลำน้ำที่มีความคดเคี้ยว และการจำลองพื้นที่แบบกริด



(ข) เปรียบเทียบรูปแบบกริด และ รูปแบบ Mesh

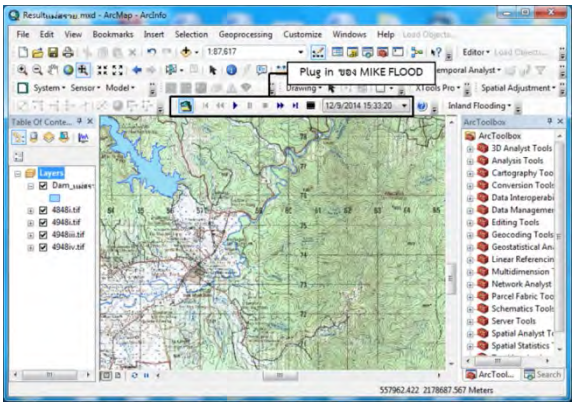
รูปที่ 2.1-24 ตัวอย่างรูปแบบการคำนวณแบบ 2 มิติของแบบจำลอง MIKE FLOOD

ที่มา : Manual of MIKE Flood, 2012

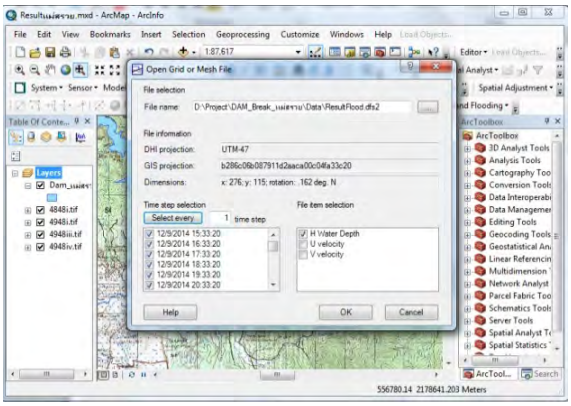


รูปที่ 2.1-25 ตัวอย่างการจำลองพื้นที่แบบ Mesh ในการคำนวณแบบ 2 มิติของแบบจำลอง MIKE FLOOD

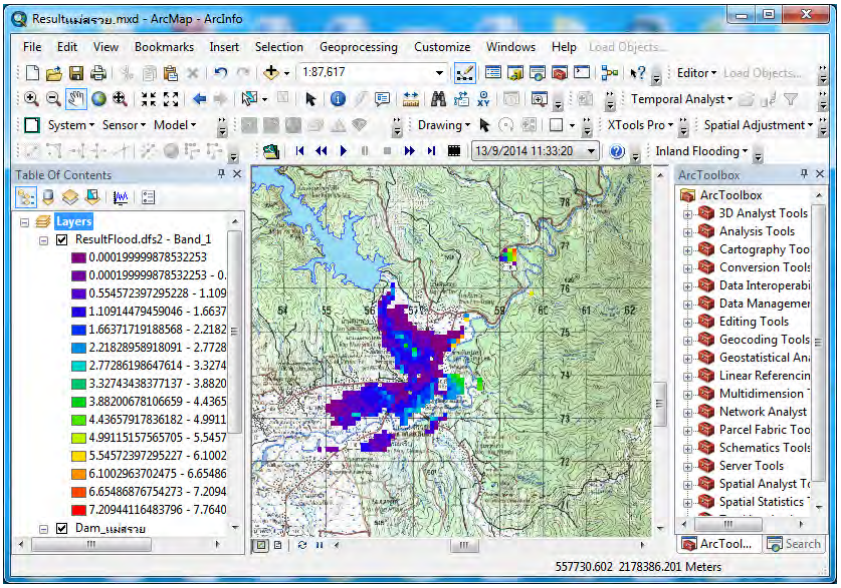
ที่มา : Manual of MIKE Flood, 2012



(ก) โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
ที่ติดตั้ง Plugin ของ MIKE FLOOD



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



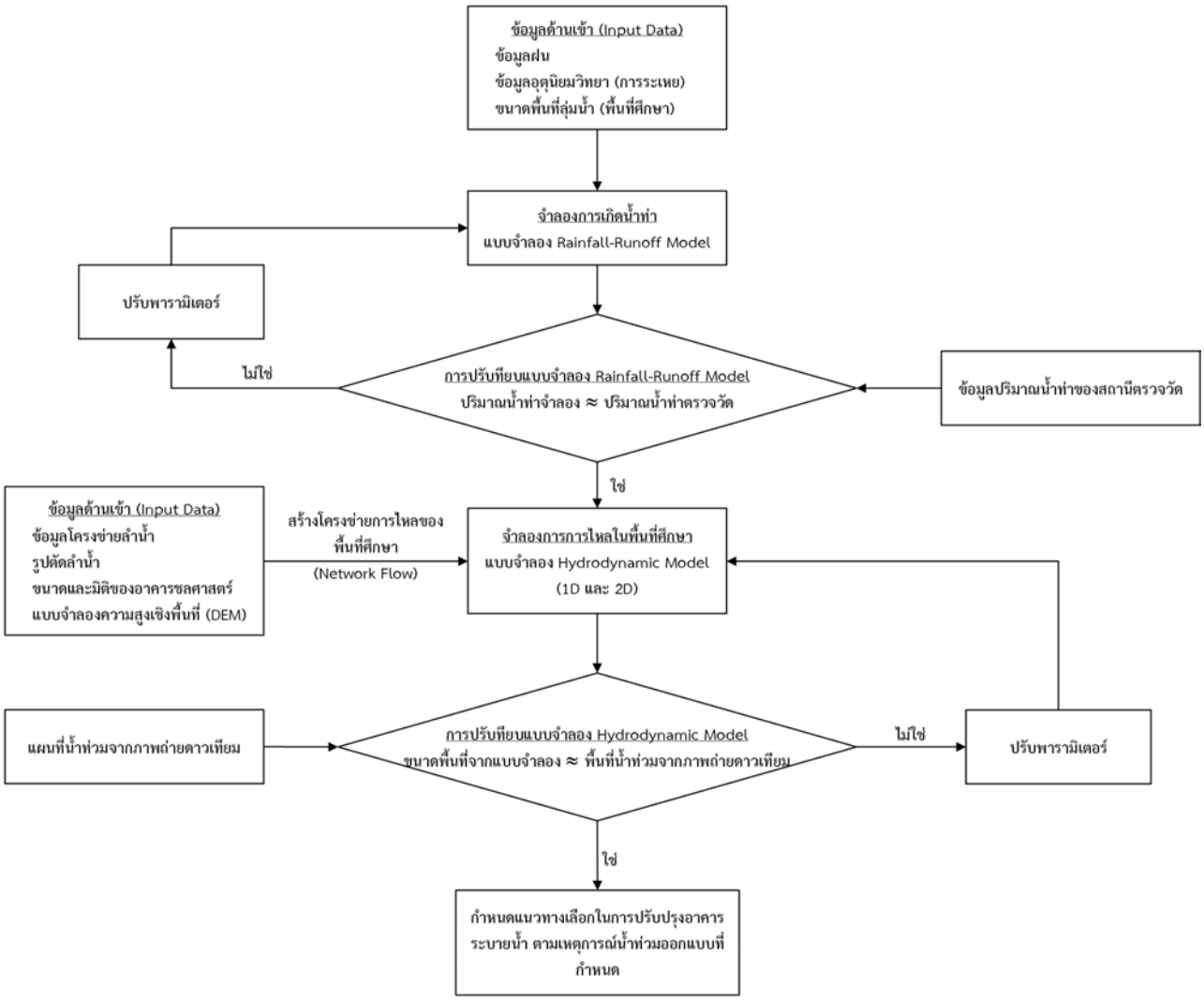
(ค) การซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ของผลการคำนวณ และชั้นข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์

รูปที่ 2.1-26 การเปิดผลการคำนวณผ่านโปรแกรม ArcGIS

2.1.3.3. แนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งทางที่ปรึกษาเสนอให้ใช้แบบจำลอง MIKE FLOOD เนื่องจากมีความเหมาะสมและมีจุดต่างๆ ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยแนวทางในการใช้แบบจำลองจะเริ่มตั้งแต่การประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นจากฝนที่ตกในพื้นที่ จากนั้นจะประเมินการไหลของน้ำในโครงข่ายการไหล (Network Flow) ตามปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้น โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงใน**รูปที่ 2.1-27** ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) จำลองปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา จากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ โดยใช้แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า หรือ Rainfall – Runoff Model ซึ่งเป็น Module ย่อย ของแบบจำลอง MIKE FLOOD
2) ทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ด้วยการนำผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝนที่ได้จากแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับข้อมูลสถิติปริมาณน้ำท่าที่มีการบันทึกไว้ จากสถานีวัดน้ำท่าหรือสถานีที่อยู่ใกล้เคียง
3) นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบและตรวจสอบไปประเมินปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นสำหรับเหตุการณ์น้ำฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ
4) ทำการจำลองสภาพการไหลในพื้นที่ศึกษา โดยใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ หรือ Hydrodynamic Model ซึ่งเป็น Module ย่อย ของแบบจำลอง MIKE FLOOD ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้
    4.1) สร้างโครงข่ายการไหลของพื้นที่ศึกษา (Network Flow) จากข้อมูลโครงข่ายลำน้ำ รูปตัดลำน้ำ ขนาดและมิติของอาคารชลศาสตร์ และ แบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ (DEM)
    4.2) กำหนดช่วงเวลาหรือเหตุการณ์ของน้ำท่าที่จะทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (แบบจำลอง Hydrodynamic Model จะดึงข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง Rainfall – Runoff Model มาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าโดยอัตโนมัติ ตามช่วงหรือเหตุการณ์ที่ผู้ใช้กำหนด)
    4.3) ทำการปรับเทียบแบบจำลอง โดยการนำข้อมูลขนาดพื้นที่น้ำท่วมได้จากแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมจริงจากภาพถ่ายดาวเทียม (ในกระบวนการคำนวณของแบบจำลองหากการไหลยังอยู่ในลำน้ำจะเป็นการคำนวณการไหลแบบ 1 มิติ (1D) แต่หากมีการไหลล้นจากตลิ่งบ่าเข้าท่วมพื้นที่ จะเป็นการคำนวณการไหลแบบ 2 มิติ (1D))
    4.4) นำแบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์ มาใช้ในการกำหนดแนวทางเลือกในการปรับปรุงอาคารระบายน้ำ ตามเหตุการณ์น้ำท่วมออกแบบที่กำหนด



รูปที่ 2.1-27 แนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการศึกษาของโครงการ

2.2. แนวคิด และวิธีการในการแก้ไขปัญหาการระบายน้ำบนทางหลวง ในประเทศและต่างประเทศ

การศึกษาทบทวน แนวคิดและวิธีการในการแก้ไขปัญหาการระบายน้ำบนทางหลวง ในประเทศและต่างประเทศ เป็นขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้สำหรับนำมาใช้ประกอบการศึกษาของโครงการ โดยในการศึกษาทบทวนฯ นั้นทางที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากคู่มือ บทความทางวิชาการ ตลอดจนรายงานการศึกษาต่างๆ ดังนี้

- Highway Design Manual (Chapter Highway Drainage) ของหน่วยงาน Department of Transport New York State of Opportunity ประเทศสหรัฐอเมริกา
- Manual of Road Drainage : Culvert Design ประเทศออสเตรเลีย
- Integrated approach to determine highway flooding and critical points of drainage ประเทศเม็กซิโก
- Guidelines on Flood Disater Mitigation for Highway Engineers ประเทศอินเดีย
- Highway flood disater risk evaluation and management in China ประเทศจีน
- การบริหารจัดการสถานการณ์ภัยพิบัติ กรมทางหลวงชนบท
- คู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงาน มาตรฐานการระบายน้ำ กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย

สำหรับรายละเอียดของผลการทบทวนเอกสารต่างๆ ดังที่กล่าวข้างต้น สามารถแสดงได้ดังนี้

2.2.1. Highway Design Manual (Chapter 8 Highway Drainage) ของหน่วยงาน Department of Transport New York State of Opportunity ประเทศสหรัฐอเมริกา

คู่มือ Highway Design Manual ในบทที่ 8 เรื่อง Highway Drainage ซึ่งเรียบเรียงโดยหน่วยงาน Department of Transport New York State of Opportunity ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเอกสารที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับแนวทางการออกแบบระบบระบายน้ำบนทางหลวง โดยแบ่งออกเป็นบทย่อยต่างๆ ทั้งหมด 10 บท โดยประเด็นสำคัญซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับแนวทางการดำเนินงานของกรมทางหลวง ประกอบไปด้วย การกำหนดเกณฑ์การออกแบบทางด้านอุทกวิทยาเพื่อประเมินอัตราการไหลสูงสุดออกแบบ และเกณฑ์การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ เพื่อกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) การกำหนดเกณฑ์การออกแบบทางด้านอุทกวิทยาเพื่อประเมินอัตราการไหลสูงสุดออกแบบ

การกำหนดแนวทางการประเมินอัตราการไหลสูงสุดออกแบบ (Q_{design} หรือ Q_{peak}) ที่เสนอแนะไว้ในคู่มือฉบับนี้ มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธี คือ

(1) วิธี Rational Formula สำหรับการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดออกแบบ สำหรับขนาดพื้นที่รับน้ำขนาดไม่เกิน 200 เอเคอร์

(2) วิธี Modified Soil Cover Complex Method เป็นวิธีคำนวณอัตราการไหลสูงสุดออกแบบ สำหรับขนาดพื้นที่รับน้ำขนาดไม่เกิน 1 ตารางไมล์ (640 เอเคอร์) ซึ่งมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$Q_{design} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

เมื่อ Q_{design} คือ อัตราการไหลสูงสุดออกแบบ

I_a คือ การสูญเสียเริ่มต้น (นิ้ว) โดย $I_a = 0.2S$

P คือ ความลึกฝนตามรอบปีการเกิดซ้ำที่กำหนด

S คือ การเก็บกักของน้ำในชั้นดินสูงสุดหลังจากที่ฝนเริ่มตกคำนวณได้จาก

$$S = \frac{100}{CN} - 1$$

CN คือ Runoff Curve Number ซึ่งมีค่าแปรผันไปโดยขึ้นอยู่กับชนิดของดินและการใช้ประโยชน์ที่ดิน

(3) วิธี Regression ซึ่งประเมินขนาดของอัตราการไหลสูงสุดออกแบบจากขนาดของพื้นที่รับน้ำ โดยอาศัยสมการความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราการไหลกับขนาดพื้นที่รับน้ำ ที่ได้ดำเนินการศึกษาเอาไว้ ซึ่งวิธีการนี้ จะมีหลักการเช่นเดียวกับ วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) ซึ่งแสดงไว้ใน “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง”

อย่างไรก็ตาม ในการกำหนดรอบปีการเกิดซ้ำ หรือความถี่ของน้ำท่วมที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ จะกำหนดตามชนิดของอาคารระบายน้ำ ความสำคัญของสายทาง ดังแสดงใน**ตารางที่ 2.2-1**

ตารางที่ 2.2-1 การกำหนดรอบปีการเกิดซ้ำสำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำตาม Highway Design Manual ของหน่วยงาน Department of Transport New York State of Opportunity ประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเภทถนน	ท่อลอด	ระบบระบายน้ำฝน	ท่อลอดใต้ทางเชื่อม	รางระบายน้ำ (Ditch)
ทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง	50	10	N/A	25
ทางหลวงสายหลัก	50	10	25	25
ทางหลวงสายรอง	50	5	10	10
ทางหลวงในเขตชุมชน	50	5	10	10

2) เกณฑ์การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ เพื่อกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ

เกณฑ์การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ ของระบบระบายน้ำ ยังคงกำหนดให้การไหลเป็นแบบ Steady Uniform Flow ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ ยังคงสามารถใช้สมการ Manning ได้ ในขณะที่การไหลผ่านท่อลอด ในคู่มือฉบับนี้กำหนดให้ใช้ Monograph ตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในคู่มือ Drainage Handbook Culvert Design ของหน่วยงาน FHWA

สรุปเปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการกับที่กรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการ/แนวทางการนำมาปรับใช้กับโครงการ

จากเกณฑ์การออกแบบทางด้านอุทกวิทยาเพื่อประเมินอัตราการไหลสูงสุดออกแบบ และเกณฑ์การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ เพื่อกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำ ตาม Highway Design Manual (Chapter 8 Highway Drainage) ของหน่วยงาน Department of Transport New York State of Opportunity ประเทศสหรัฐอเมริกา จะเห็นได้ว่า มีการกำหนดรอบปีการเกิดซ้ำของอาคาระบายน้ำประเภทต่างๆ ตามลักษณะของถนนไว้อย่างชัดเจน โยเฉพาะในส่วนของการออกแบบท่อลอดของถนนทุกประเภทกำหนดไว้ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี ในขณะที่การวิเคราะห์

ตามแนวทางของกรมทางหลวง (ซึ่งกล่าวรายละเอียดไว้ในหารทบทวนผลการศึกษาใน**หัวข้อที่ 2.4.3.2** ถึง **2.4.3.5** จะแสดงการออกแบบที่รอบปีการเกิดซ้ำ 25 ปี และ 50 ปี ส่วนการออกแบบระบบระบายน้ำฝนตามคู่มือฉบับนี้กำหนดให้ใช้ที่ 10 ปี สำหรับถนนสายหลัก ในขณะที่ถนนสายรองและเขตชุมชนกำหนดไว้ที่ 5 ปี ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่กรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ ปริมาณฝนออกแบบที่ตกในบริเวณพื้นที่ที่จะระบายน้ำกำหนดให้ใช้ที่รอบ 5-10 ปี ขึ้นอยู่กับระดับความสำคัญของปัญหาน้ำท่วม เช่น สำหรับ บริเวณชุมชนไม่หนาแน่นและมีปัญหาน้ำท่วมขังเพียงเล็กน้อยใช้รอบปีการเกิดของ ฝนออกแบบ 5 ปี ในทางตรงกันข้ามหากเป็นบริเวณที่มีชุมชนหนาแน่นย่านพาณิชยกรรมและธุรกิจการค้าซึ่งเมื่อเกิดน้ำท่วมจะมีความเสียหายค่อนข้างมากและเป็น อุปสรรคต่อการสัญจรให้ใช้รอบปีการเกิดของฝนออกแบบ 10 ปี

นอกจากนี้ประเด็นในการกำหนดวิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของคู่มือฉบับนี้ กำหนดให้ใช้วิธี Rational Formular สำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กมาก คือ ไม่เกิน 200 เอเคอร์ หรือ 0.8 ตารงกิโลเมตร เท่านั้น ในขณะที่ข้อกำหนดตามทฤษฎีทั่วไป ซึ่งกรมทางหลวงใช้สำหรับ Rational Formular คือ กรณีที่พื้นที่รับน้ำไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร

สำหรับเกณฑ์การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ตามที่เสนอแนะในคู่มือฉบับนี้ สอดคล้องกับที่กรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ การกำหนดขนาดของอาคารระบายน้ำยังคงสามารถใช้สมการ Manning ได้ ในขณะที่การไหลผ่านท่อลอด ในคู่มือฉบับนี้กำหนดให้ใช้ Monograph ตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในคู่มือ Drainage Handbook Culvert Design ของหน่วยงาน FHWA ซึ่งได้มีการแสดงไว้ใน “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง” เช่นกัน

2.2.2. Manual of Road Drainage : Culvert Design ประเทศออสเตรเลีย

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

การออกแบบของท่อลอด ต้องเริ่มต้นด้วยการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพื้นที่ที่ทำการระบายน้ำ รวมถึงรายละเอียดต่างๆที่เกี่ยวกับพื้นที่ ทั้งรายงานสิ่งแวดล้อมและธรณีเทคนิค ซึ่งขั้นตอนต่างๆ มีรายะเอียดโดยสรุปดังนี้

1) เก็บข้อมูลพื้นที่ - มีการทบทวน สำรวจข้อมูลภูมิประเทศ แผนที่ ภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ที่ต้องการ เช่น ข้อมูลพื้นที่รับน้ำ ทางน้ำ ข้อมูลต้นน้ำ และปลายน้ำ ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม ข้อมูลดินในบริเวณนั้นเป็นต้อน และสิ่งที่สำคัญ ที่ต้องทบทวน คือ ข้อมูลของน้ำท่วมที่มีการบันทึกไว้ ศึกษาข้อมูลอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียงในพื้นที่ เช่น คลอง ทำนบ พื้นที่รับน้ำ ข้อมูลเหล่านี้ใช้เพื่อให้ผู้ออกแบบเริ่มต้นในการคำนวณขนาดและการจัดวางท่อลอด
2) การคำนวณถนน/คลองส่งน้ำ – การวางเส้นทางถนนมีการวางข้ามเส้นทางน้ำ/คลองส่งน้ำ ดังนั้นผู้ออกแบบควรคำนึงถึง ความสูงของช่วงถนนในช่วงข้ามเส้นทางน้ำ การจัดวางเส้นทางถนนในช่วงแนวระนาบ ความสูงชันของเขื่อนริมน้ำหรือ เนินเขา ความหนาของถนนที่จำทำการก่อสร้าง ลักษณะของคลองส่งน้ำ (ความกว้างและความลาดเอียงของคลองส่งน้ำ) พารามิเตอร์เหล่านี้ต้องการเพื่อมาใช้ในการคำนวณหาความสูงสูงสุด ความกว้างและความยาวที่น้อยที่สุดของท่อลอด นอกจากนี้พารามิเตอร์เหล่านี้ยังช่วยให้การกำหนดความสูงแรงดันเหนือเขื่อน (Head Water) ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาท่อลอดที่ต้นน้ำ
3) การคำนวณชนิดท่อลอดและตำแหน่งที่วาง – การเลือกวัสดุของท่อลอดให้เหมาะสมกับพื้นที่และ เสนอแนวทางการจัดวาง จะต้องมีการคำนวณ ขนาดของท่อลอดเพื่อให้เหมาะสม และทำการตรวจสอบข้อกำหนดต่างให้ครอบคลุมกับขนาดของท่อลอดที่ทำการเลือก กำหนดระดับความสูงของระดับน้ำทางเข้า-ทางออก ตรวจสอบการคำนวณต่างๆว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม และเอกสารเกี่ยวกับการออกแบบท่อลอดทั้งในแง่ความเป็นไปได้และข้อจำกัดทีจะเกิดขึ้น
4) การคำนวณระดับน้ำท้ายน้ำของจุดออกท่อลอด
5) ออกแบบภายใต้หลักการชลศาสตร์ – กำหนดระดับความสูงของน้ำที่สามารถยอมรับได้ รวมถึง ระยะจากระดับน้ำสูงสุดถึงระดับหลังคันคลองหรือสันเขื่อน (Freeboard) เมื่อทำการออกแบบท่อลอดเสร็จสิ้นจะมีการคำนวณค่าทางชลศาสตร์ต่างๆ และมีการทดลองเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตามแบบโครงสร้างที่ได้วางไว้เพื่อเลือกการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด

6) การทบทวนแบบที่ทำการเลือก – ทำการตรวจสอบการออกแบบทางชลศาสตร์ว่าสามารถป้องกันน้ำท่วมได้อย่างที่ต้องการหรือไม่ ตรวจสอบระดับความสูงน้ำ (Headwater) ที่จะเกิดขึ้นกับความสูงน้ำที่จะยอมรับได้ ตรวจสอบความเร็วจุดปล่อยน้ำ ตรวจสอบขอบเขตของพื้นที่รับน้ำจากการไหลบ่าและ สำรวจผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

7) ตรวจสอบเครือข่ายใกล้เคียง อาทิเช่น น้ำผิวดินจากแหล่งอื่นสามารถเข้าสู่จุดรับน้ำหรือจุดปล่อยน้ำของท่อลอดได้หรือไม่ น้ำใต้ดินสามารถเข้าสู่จุดรับน้ำหรือจุดปล่อยน้ำของท่อลอดได้หรือไม่

8) การบรรเทาผลกระทบ – คำนวณการป้องกันมลพิษทั้งจุดเข้าและจุดออก

ในเอกสารฉบับนี้ได้แสดงแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเชิงชลศาสตร์ เพื่อนำมาใช้นการออกแบบท่อลอด ดังแสดงใน**รูปที่ 2.2-1** ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในการออกแบบท่อลอด จะต้องพิจารณาทั้งกรณี Inlet Control และ Outlet Control

PROJECT:

Designer:
Checker / Reviewer:
Date:

Sheet ___ of ___

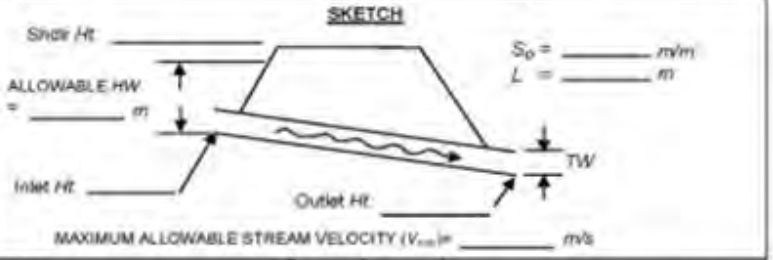
HYDROLOGICAL AND DESIGN INFORMATION

Q_1 = _____ m^3/s - ARI ___ yrs TW_1 = _____ m

Q_2 = _____ m^3/s - ARI ___ yrs TW_2 = _____ m

Q_3 = _____ m^3/s - ARI ___ yrs TW_3 = _____ m Extreme Event Check

SKETCH



CULVERT DESCRIPTION	Q per Cell / Q/B Ratio	Size D or Ht	HEADWATER COMPUTATION: INLET CONT. HW/D	INLET CONT. HWi (1)	OUTLET CONTROL k_e	OUTLET CONTROL H	OUTLET CONTROL d_c	OUTLET CONTROL $\frac{d_c+D}{2}$ (2)	OUTLET CONTROL TW (3)	OUTLET CONTROL h_o	OUTLET CONTROL LS_o	OUTLET CONTROL HW_o (4)	CONTROLLING HEADWATER	OUTLET VELOCITY (V_o)	Comments (incl. check of Froude No. & AHW)
Levee/block:															
Energy Dissipator:			Figs 9B.1 - 9B.4	HWi=HW/D x D	Table 9.10.7	Figs 9B.5 - 9B.10	Figs 9B.13 - 9B.15			If TW > D, then h_o = TW. Otherwise h_o is greater of (2) & (3)	Length x Slope	HW_o=H + h_o - LS_o	Greater of (1) & (4)	Average outlet velocity: V_o=Q/A. Refer Sect. 9.11.9 When inlet control: Use Figs 9B.11 & 9B.12 to determine part full area for pipes. For boxes, use Manning's to determine normal depth. When outlet control: Depth of flow based on D, d_c or TW as appropriate	
Summary and Recommendations:															

รูปที่ 2.2-1 แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลเชิงชลศาสตร์สำหรับการออกแบบท่อลอด

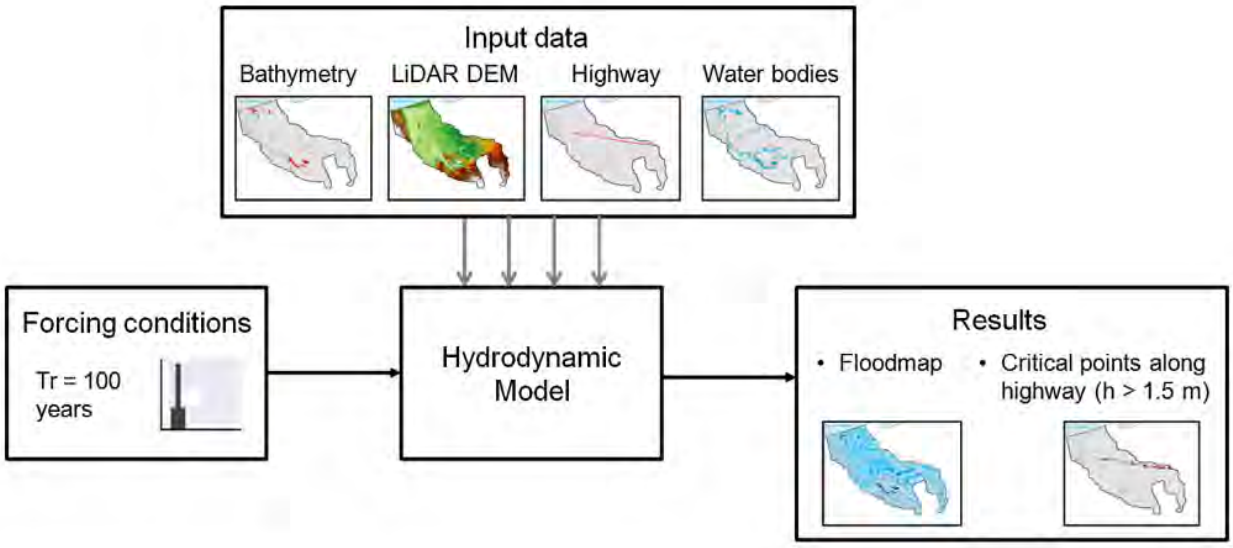
สรุปเปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการกับที่กรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการ/แนวทางการนำมาปรับใช้กับโครงการ

จากแนวทางการออกแบบท่อลอด (Culvert) ตามเอกสาร Manual of Road Drainage : Culvert Design ประเทศออสเตรเลีย จะเห็นได้ว่า การพิจารณาการออกแบบเพื่อเลือกขนาดหน้าตัดของท่อลอดที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาทั้งกรณี Inlet Control และ Outlet Control โดยจะพิจารณาในแต่ละตำแหน่งของท่อลอด ซึ่งจะสอดคล้องกับแนวทางที่เสนอแนะไว้ใน “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง” อย่างไรก็ตามจากผลการทบทวน แนวทางการประเมินขนาดหน้าตัดการไหลของท่อลอดตามรายงานการศึกษาพื้นที่รับน้ำ (ตาม **หัวข้อที่ 2.4.3.3** ถึง **2.4.3.5**) ที่กรมทางหลวงดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน จะประเมินขนาดจากพื้นที่รับน้ำรวม โดยคำนวณอัตราการไหลออกแบบ จากนั้นนำอัตราการไหลดังกล่าวมาหารด้วยความเร็วการไหล (ซึ่งกำหนดไว้ที่ 1.7 เมตร/วินาที) เพื่อกำหนดขนาดหน้าตัดรวมในการระบายน้ำ ดังนั้นทางที่ปรึกษาจึงเห็นว่า ในการกำหนดขนาดหน้าตัดของท่อลอด ควรพิจารณารายละเอียดเป็นรายตำแหน่ง และต้องคำนวณโดยพิจารณาทั้งกรณี Inlet Control และ Outlet Control ตามที่เสนอแนะไว้ใน “คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง”

2.2.3. Integrated approach to determine highway flooding and critical points of drainage ประเทศเม็กซิโก

บทความเรื่อง Integrated approach to determine highway flooding and critical points of drainage ซึ่งตีพิมพ์ ในวารสาร Transportation Research ค.ศ. 2016 ได้มีการศึกษาเพื่อกำหนดพื้นที่วิกฤตบนทางหลวงในด้านการระบายน้ำ โดยในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการนำเทคโนโลยีต่างๆ มาบูรณการรวมกัน เพื่อประเมินจุดเสี่ยงบนทางหลวงในมลรัฐ Tabasco ประเทศเม็กซิโก

สำหรับวิธีการศึกษาในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการสำรวจลักษณะสภาพภูมิเทศโดยใช้เทคโนโลยี Lidar มาสร้างเป็นแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ (DEM) ที่มีความละเอียด 50x50 เมตร โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งอยู่ในช่วง ±0.02 เมตร จากนั้นนำข้อมูลผลการสำรวจมาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าสำหรับแบบจำลองอุทกพลศาสตร์แบบ 2 มิติ เพื่อจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมน้ำท่วมในรูปแบบของแผนที่น้ำท่วมที่สามารถแสดงถึงข้อมูล ระดับความลึกของน้ำท่วมบนทางหลวงในพื้นที่ศึกษา ซึ่งแนวทางการดำเนินงานสามารถแดงได้ดัง**รูปที่ 2.2-2**

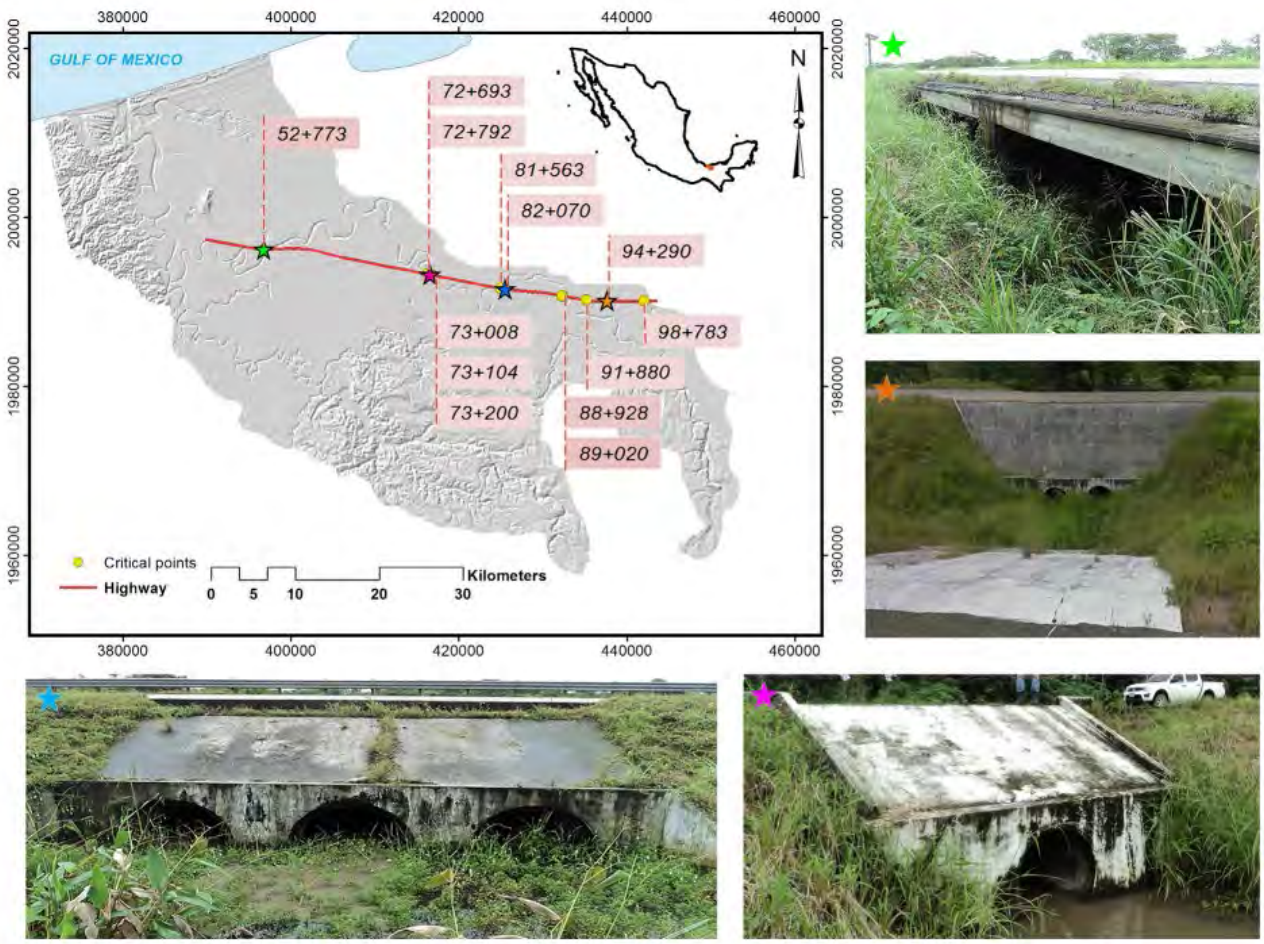


รูปที่ 2.2-2 กรอบแนวทางการดำเนินงานในการวิเคราะห์ตำแหน่งวิกฤตด้านการระบายน้ำบนทางหลวง

สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ เพื่อจัดทำแผนที่น้ำท่วม ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกเหตุการณ์ของกรณีที่เกิดฝนตกในพื้นที่ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี มาใช้เป็นเหตุการณ์ในการวิเคราะห์ และได้มีการกำหนดเกณฑ์วิกฤติ ของตำแหน่งน้ำท่วมบนทางหลวงตามระดับความลึกของน้ำออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

- ระดับรุนแรงวิกฤติ ความลึกของน้ำท่วมมากว่า 1.5 เมตร
- ระดับรุนแรงปานกลาง ความลึกของน้ำท่วม 0.5- 1.5 เมตร
- ระดับรุนแรงน้อย ความลึกของน้ำท่วมน้อยกว่า 0.5 เมตร

จากผลการศึกษาพบว่า ทางหลวงในเขตพื้นที่ศึกษาระยะทางประมาณ 54 กิโลเมตร พบว่า มีตำแหน่งที่มีระดับความรุนแรงในระดับขั้นวิกฤติด้านการระบายน้ำจำนวน 13 ตำแหน่ง ดังแสดงใน**รูปที่ 2.2-3**



รูปที่ 2.2-3 ตำแหน่งทางหลวงที่มีปัญหาน้ำท่วมรุนแรงระดับวิกฤติ

สรุปเปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการกับที่กรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการ/แนวทางการนำมาปรับใช้กับโครงการ

จากผลการทบทวนบทความเรื่อง Integrated approach to determine highway flooding and critical points of drainage จะเห็นได้ว่า แนวทางการศึกษาตามบทความฉบับนี้ ใกล้เคียงกับโครงการศึกษาครั้งนี้ กล่าวคือ จะมีการนำข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์สภาพการไหลในพื้นที่ศึกษาโครงการจังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร เพื่อประเมินแผนที่น้ำท่วมและระดับความสูงของน้ำท่วมบนทางหลวง อย่างไรก็ตาม การกำหนดเหตุการณ์ในอนาคต ซึ่งในบทความฉบับนี้ใช้ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 100 ปี นั้น ทางที่ปรึกษาเห็นว่า เป็นค่าการออกแบบที่มากจนเกินไป โดยในการศึกษาครั้งนี้ทางที่ปรึกษาจะวิเคราะห์ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 50 ปี ตามหลักการออกแบบอาคารระบายน้ำที่กรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบัน

อีกประเด็นหนึ่งที่เนื้อหาในบทความฉบับนี้มีความแตกต่างกับแนวทางที่กรมทางหลวงดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน คือ การกำหนดระดับความรุนแรงของพื้นที่น้ำท่วมตามระดับน้ำท่วม กล่าวคือ ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้ระดับความรุนแรงวิกฤติ ระดับรุนแรงปานกลาง และระดับรุนแรงน้อย มีค่าของระดับน้ำมากกว่า 1.50 เมตร อยู่ระหว่าง 0.5-1.50 เมตร และ น้อยกว่า 0.5 เมตร ตามลำดับ ซึ่งหากนำมาเปรียบกับเกณฑ์การกำหนดระดับน้ำในระบบบริหารภัยพิบัติและสถานการณ์ฉุกเฉิน ที่กำหนดระดับความลึกของน้ำท่วมตามความสามารถในการขับขี่ผ่านไว้ 3 ระดับ คือ ผ่านไม่ได้ ผ่านได้แต่ไม่สะดวก และผ่านได้ จะมีค่าเท่ากับ มากกว่า 30 เซนติเมตร 20-30 เซนติเมตร และน้อยกว่า 20 เซนติเมตร

2.2.4. Highway flood disater risk evaluation and management in China ประเทศจีน

บทความฉบับนี้เขียนโดย Bin Ou-Yang, Chun-Chao Chu, Ya-Bin Da, Xiao-Fei Liu และ Hai-Ying Zhang ในปี 2014 โดยเนื้อหาได้กล่าวถึง อุทกภัยหรือภัยพิบัติน้ำท่วมเป็นหนึ่งในภัยธรรมชาติที่สร้างความเสียหายมากที่สุดสำหรับการขนส่งบนทางหลวงทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเสียหายกับโครงสร้างของทางหลวง เพื่อให้เข้าใจถึงอิทธิพลอันเลวร้ายของภัยพิบัติน้ำท่วมที่มีต่อการขนส่งบนทางหลวงของประเทศจีน บทความนี้จึงเสนอดัชนีการประเมินทางเลือกสำหรับความเสี่ยงจากภัยพิบัติน้ำท่วมบนทางหลวง 3 ด้าน ได้แก่ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ สภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ และการแบกรับกับภัยพิบัติ ซึ่งสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1) ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ

ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ หมายถึง ปัจจัยที่สามารถก่อให้เกิดภัยพิบัติได้ โดยปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เกิดน้ำท่วมบนทางหลวงมีหลายประการ ได้แก่ ปัจจัยทางธรรมชาติ (ปริมาณน้ำฝนและน้ำหลาก) และปัจจัยทางสังคม (กิจกรรมของมนุษย์) ในบรรดาปัจจัยที่เป็นสาเหตุทั้งหมด ปริมาณน้ำฝน โดยเฉพาะพายุฝน เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอุทกภัย

โดยฝนที่ตกหนักจะช่วยเพิ่มระดับน้ำจากน้ำท่วมและทำให้ไหล่ทางถูกน้ำท่วม เมื่อพูดถึงการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำฝนนั้น สามารถนำวิธีการด้านอุตุนิยมวิทยามาใช้ และแบ่งปริมาณน้ำฝนออกเป็นสี่ระดับ ได้แก่ ฝนเล็กน้อย ฝนปานกลาง ฝนตกหนัก และพายุฝนตามลำดับ ในการหาปัจจัยน้ำท่วม เราสามารถใช้ความถี่ของน้ำท่วมเป็นดัชนีชี้วัดได้ โดยใช้เวลาที่เกิดน้ำท่วมขึ้นในช่วง 1 หรือ 10 ปี

เนื่องจากมีทั้งปัจจัยเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ รวมถึงมิติของปัจจัยเชิงปริมาณต่าง ๆ แตกต่างกัน ดังนั้นจำเป็นจะต้องหาปริมาณและปรับปัจจัยให้เป็นมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดภัยพิบัติ และการสำรวจภาคสนาม รวมถึงข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง และการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ (Ling et al. 2008; Tan et al. 2011) สามารถแบ่งปัจจัยออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ พื้นที่อันตราย พื้นที่เสี่ยงภัยสูง พื้นที่มีแนวโน้มปานกลาง และพื้นที่มีแนวโน้มต่ำ ตามลำดับ และกำหนดค่าสูงสุดของดัชนีเหล่านี้นั้นเท่ากับ 100 และต่ำสุดเท่ากับ 0 โดยการแบ่งประเภทของปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ แสดงได้ดัง**ตารางที่ 2.2-2**

ตารางที่ 2.2-2 การจำแนกประเภทและคะแนนของตัวชี้วัดสาเหตุการเกิดภัยพิบัติ

การจำแนกประเภท และค่าคะแนน	พื้นที่อันตราย	พื้นที่เสี่ยงสูง	พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	พื้นที่เสี่ยงต่ำ
ความรุนแรงของพายุ (มม./10 นาที)				
ประเภท	≥ 15	15 - 10	10 – 5	< 5
คะแนน	[100, 90)	[90, 80)	[80, 60)	[60, 0)
ความถี่ของการเกิดน้ำท่วม (ครั้ง/ปี)				
ประเภท	≥ 9	9 – 6	6 - 3	< 3
คะแนน	[100, 90)	[90, 80)	[80, 60)	[60, 0)

หมายเหตุ ข้อมูลจากตารางดังกล่าวเป็นสถิติข้อมูลจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายบริหารงานและบำรุงรักษาทางหลวง รวมทั้งอ้างอิงจากการประมาณค่าที่เหมาะสมจากข้อมูลย้อนหลัง การคำนวณของผู้ศึกษา และงานวิจัย

2) สภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ

ข้อมูลอ้างอิงจากผลการวิจัยของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Bai et al. 1993, Tan et al. 2011, Zhu and Wang 2001) พบว่า ปัจจัยบางประการมีอิทธิพลให้เกิดน้ำท่วมในทางหลวง ซึ่งในการศึกษานี้ ได้เลือกใช้ดัชนีชี้วัดปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมหลัก จำนวน 6 ด้าน ประกอบด้วย

- ข้อจำกัดทางด้านธรณีวิทยา
- สถานการณ์ธรณีพิบัติภัยในอดีต
- สภาพภูมิประเทศ
- สภาพธรณีวิทยา
- ปริมาณพืชปกคลุมดิน
- กิจกรรมของมนุษย์

สำหรับรายละเอียดการจำแนกประเภทของปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติแสดงดัง **ตารางที่ 2.2-3**

ตารางที่ 2.2-3 การจำแนกประเภทและคะแนนของตัวชี้วัดสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ

การจำแนกประเภทและค่าคะแนน	พื้นที่อันตราย	พื้นที่เสี่ยงสูง	พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	พื้นที่เสี่ยงต่ำ
ข้อจำกัดทางด้านธรณีวิทยา				
ประเภท	โครงสร้างแบบประทุนคว่ำ (Anticline structure)	โครงสร้างแบบแนวเทเดี่ยว (Monocline structure)	โครงสร้างแบบต่างระดับ (Level structure)	โครงสร้างแบบประทุนหงาย (Syncline structure)
คะแนน	(≥ 80)	(80, 70]	(70, 50]	(50, 0]
สถานการณ์ธรณีพิบัติภัยในอดีต (แห่ง/กิโลเมตร)				
ประเภท	≥ 5	5 - 3	3 - 1	< 1
คะแนน	(≥ 90)	(90, 70]	(70, 50]	(50, 0]
สภาพภูมิประเทศ				
ประเภท	ภูเขา	เนินสูง	เนินเตี้ย	ที่ราบ
คะแนน	(≥ 80)	(80, 60]	(60, 30]	(30, 0]
สภาพธรณีวิทยา				
ประเภท	หินตะกอนยุคควอเตอนารี	หินโคลน/หินดินดาน	หินปูน	หินทราย
คะแนน	(≥ 80)	(80, 60]	(60, 40]	(40, 0]
ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี (มม.)				
ประเภท	≥ 1,400	1,400 – 1,200	1,200 – 1,000	< 1,000
คะแนน	(≥ 60)	(60, 50]	(50, 40]	(40, 0]

ตารางที่ 2.2-3 (ต่อ) การจำแนกประเภทและคะแนนของตัวชี้วัดสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ

การจำแนกประเภทและค่าคะแนน	พื้นที่อันตราย	พื้นที่เสี่ยงสูง	พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	พื้นที่เสี่ยงต่ำ
ร้อยละของพืชปกคลุมดิน (%)				
ประเภท	< 10	10 – 20	20 - 30	≥ 30
คะแนน	(≥ 80)	(80, 70]	(70, 50]	(50, 0]
ความหนาแน่นของประชากร (คน/ตร.กม.)				
ประเภท	≥ 360	180–360	90–180	< 90
คะแนน	(≥ 80)	(80, 70]	(70, 50]	(50, 0]

3) การแบกรับภัยพิบัติและความสูญเสีย

ในด้านการแบกรับภัยพิบัติ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การแบกรับภัยพิบัติโดยตรง และการแบกรับภัยพิบัติทางอ้อม โดยการแบกรับภัยพิบัติโดยตรงส่วนใหญ่จะพิจารณาถึง พื้นถนน ไหล่ทาง โครงสร้างกันดิน สะพานขนาดเล็ก และท่อระบายน้ำ เป็นต้น ในส่วนของการแบกรับภัยพิบัติทางอ้อม หมายถึง ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับทรัพยากรดิน สิ่งแวดล้อม และสภาพเศรษฐกิจ-สังคม ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตของการศึกษาในบทความนี้

ในบทความนี้ ได้พิจารณาความเสียหายต่อทรัพย์สินจากภัยพิบัติประกอบด้วย 3 ด้านหลัก ได้แก่ ความสูญเสียโดยตรงต่อการรับมือกับภัยพิบัติ ระยะเวลาของการหยุดชะงักของการจราจร และค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟู ความเสียหายจากน้ำท่วม ซึ่งได้มีการการจัดทำแบบจำลอง เพื่อประเมินความเสียหายจากภัยพิบัติ ตามประเภทการเกิดน้ำท่วม ดังนี้

$$D(s) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} E(d_i) \cdot F_{ij} \cdot G_{ij}$$

เมื่อ $D(s)$ คือ ความเสียหายจากน้ำท่วมทางหลวงทั้งหมด

$E(d_i)$ คือ ราคาเฉลี่ยต่อหน่วยในการรับมือภัยพิบัติที่ i

F_{ij} คือ จำนวนของอัตราการสูญเสียระดับที่ j ที่เกิดขึ้นในการรับมือภัยพิบัติที่ i

G_{ij} คือ ค่าเฉลี่ยของอัตราการสุญเสียของการรับมือภัยพิบัติที่ i เมื่ออัตราการสูญเสียระดับ j เกิดขึ้น (i หมายถึงประเภทของการแบกรับภัยพิบัติ , j หมายถึงการสูญเสียระดับของการแบกรับภัยพิบัติ

ทั้งนี้จากสถิติความสูญเสียและค่าซ่อมแซมความเสียหายประเภทต่างๆ บนทางหลวงในมณฑลทางตะวันตกเฉียงใต้ของจีนระหว่างปี พ.ศ. 2548 - 2555 ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่ 2.2-4** และข้อมูลการประมาณการระยะเวลาที่การจราจรหยุดชะงัก แสดงดัง**ตารางที่ 2.2-5** ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม ฟื้นฟู โดยจำแนกตามการแบกรับภัยพิบัติและความสูญเสีย แสดงดัง**ตารางที่ 2.2-6**

ตารางที่ 2.2-4 ราคาต่อหน่วยของความเสียหายประเภทต่าง ๆ

ลำดับ	ประเภทความเสียหาย	ราคาต่อหน่วย	หน่วย	ราคาต่อหน่วย ของการซ่อมบำรุง	หน่วย
1	ถนนดินถม	55	หยวน/ลบ.ม.	140	หยวน/เมตร
2	ถนนลาดยางแอสฟัลต์	150	หยวน/ตร.ม.	500	หยวน/เมตร
3	ทางซีเมนต์	120	หยวน/ตร.ม.	300	หยวน/เมตร
4	ถนนหินคลุก	20	หยวน/ตร.ม.	70	หยวน/เมตร
5	สะพาน	31,000	หยวน/เมตร	125	หมื่นหยวน/บล็อค
6	การบำรุงรักษาท่อระบายน้ำ	20,000	หยวน/แห่ง	-	-
7	กำแพงกันคลื่น	65	หยวน/ตร.ม.	22,000	หยวน/แห่ง
8	ทางลาดชัน	90	หยวน/ตร.ม.	5,000	หยวน/แห่ง
9	กำแพงกันดิน	210	หยวน/ตร.ม.	23,000	หยวน/แห่ง
10	การพังทลาย	20	หยวน/ลบ.ม.	11,000	หยวน/แห่ง

ตารางที่ 2.2-5 ระยะเวลาการติดขัดของจราจรบนทางหลวงประเภทต่าง ๆ ภายใต้ระดับภัยพิบัติที่แตกต่างกัน

(หน่วย : ชั่วโมง)

ลำดับ	ระดับภัยพิบัติ	ใหญ่มาก	ใหญ่	ปานกลาง	เล็ก
1	สะพานทางหลวงและท่อระบายน้ำ	> 48	[48, 24)	[24, 12)	≤ 12
2	ถนน แม่น้ำ	> 48	[48, 24)	[24, 12)	≤ 12
3	ถนนทางลาดชัน	> 48	[48, 12)	[12, 6)	≤ 6
4	ถนนทางราบ	> 12	[12, 6)	[6, 1)	≤ 1

ตารางที่ 2.2-6 การจำแนกประเภทและคะแนนของดัชนีชี้วัดการแบกรับภัยพิบัติ

การจำแนกประเภทและค่าคะแนน	พื้นที่อันตราย	พื้นที่เสี่ยงสูง	พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	พื้นที่เสี่ยงต่ำ
การสูญเสียทางเศรษฐกิจ (10^4 หยวน)				
ประเภท	≥ 20	10 - 20	5 - 10	< 5
คำแนน	[100, 80)	[80, 60)	[60, 40)	[40, 0)
การล่าช้าของระยะเวลาการขนส่ง (ชั่วโมง)				
ประเภท	≥ 48	48–24	24–12	< 12
คำแนน	[100, 80)	[80, 60)	[60, 40)	[40, 0)
ค่าซ่อมบำรุงด้านวิศวกรรมจากปัญหาอุทกภัย (10^4 หยวน)				
ประเภท	≥ 20	10 - 20	5 - 10	< 5
คำแนน	[100, 80)	[80, 60)	[60, 40)	[40, 0)

4) การจัดทำแบบจำลองเพื่อประเมินความเสี่ยงจากน้ำท่วมบนทางหลวง

- วิธีการกำหนดน้ำหนักของดัชนีที่ใช้ประเมิน

ผลการประเมินความเสี่ยงมักจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากความสมเหตุสมผล และความถูกต้องของค่าน้ำหนักตัวชี้วัดที่ใช้ในการประเมิน ซึ่งครอบคลุมดัชนีชี้วัดหลายตัว ค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันอาจนำไปสู่การจัดอันดับการประเมินความเสี่ยงที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปแล้วจะมี 3 วิธีการที่นิยมใช้ในการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก ได้แก่ วิธีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแบบอัตนัย วิธีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักตามวัตถุประสงค์ และวิธีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักแบบรวม

วิธีการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้บ่อยที่สุด (Ling et al. 2008; Tan et al. 2011) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ วิธี AHP ใช้งานง่ายและเป็นแนวทางทางคณิตศาสตร์ เป็นหนึ่งในวิธีการตามวัตถุประสงค์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการจัดเรียงและสังเคราะห์ข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิธี AHP ใช้ได้กับปัญหาที่ซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงปริมาณปกติได้ นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายโอนข้อมูลเชิงคุณภาพและซับซ้อน ให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณและสามารถนำไปคำนวณได้ ด้วยคุณสมบัติที่มีความต้องการข้อมูลและระยะเวลาในการวิเคราะห์ไม่มาก จึงเป็นข้อได้เปรียบของวิธี AHP

อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตว่าวิธีการเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับความรู้สึกของผู้ประเมินเป็นอย่างสูง และผลลัพธ์มักไม่สนใจผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้น จึงมีการเสนอวิธีการรวมกันของ วิธี AHP และเหตุผลของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อนำมากำหนดค่าน้ำหนัก เพื่อให้ผลลัพธ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์และครอบคลุม โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ 4 ขั้นตอน ดังนี้

- ใช้วิธีการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process, AHP) เพื่อกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก
- ปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักตามความคิดเห็นและเหตุผลจากผู้เชี่ยวชาญ โดยในบทความฉบับนี้ได้เสนอค่าน้ำหนักของความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง ไว้ใน**ตารางที่ 2.2-7**
- ดำเนินการจัดทำดัชนีชี้วัดในการประเมินสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ โดยในบทความนี้ได้เสนอค่ามาตรฐานในการแบ่งสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดน้ำท่วมบนทางหลวง ดัง**ตารางที่ 2.2-8**
- ดำเนินการประเมินความเสี่ยงภัยน้ำท่วมบนทางหลวง โดยในบทความความฉบับนี้ ได้เสนอค่ามาตรฐานในการแบ่งระดับความเสี่ยงภัยน้ำท่วมบนทางหลวง ไว้ดัง**ตารางที่ 2.2-9**

ตารางที่ 2.2-7 ค่าน้ำหนักตัวชี้วัดความเสี่ยงภัยน้ำท่วมบนทางหลวง

ระดับปัจจัยและการปรับค่าน้ำหนัก	ระดับตัวชี้วัด	ดัชนีค่าน้ำหนัก		ดัชนีค่าน้ำหนักสุดท้าย
		ค่าน้ำหนักจากผู้เชี่ยวชาญ	ค่าน้ำหนักที่ทำการปรับ	
ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ (0.4055)	ความรุนแรงของพายุฝน (มม./10 นาที)	0.7143	0.6223	0.3169
	ความถี่การเกิดน้ำท่วม (ครั้ง/ปี)	0.2857	0.3777	0.1924
ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ (0.1421)	การแบ่งสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ	1	1	0.1785
ปัจจัยด้านการแบบรับภัยพิบัติ (0.2485)	ความสูญเสียทางเศรษฐกิจ (104 หยวน)	0.5455	0.4820	0.1505
	การล่าช้าของระยะเวลาการขนส่ง (ชั่วโมง)	0.2727	0.2810	0.0877
	ค่าซ่อมบำรุงด้านวิศวกรรมจากปัญหาอุทกภัย (10^4 หยวน)	0.1818	0.2370	0.0740

ตารางที่ 2.2-8 การแบ่งสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติน้ำท่วมบนทางหลวง

ประเภท	พื้นที่เสี่ยงต่ำ	พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	พื้นที่เสี่ยงสูง	พื้นที่อันตราย
คะแนน	$40 > Z \geq 0$	$60 > Z \geq 40$	$70 > Z \geq 60$	$100 \geq Z \geq 70$

ตารางที่ 2.2-9 เกณฑ์การแบ่งเขตเสี่ยงภัยน้ำท่วมบนทางหลวง

ความเสี่ยงภัยน้ำท่วมบนทางหลวง	พื้นที่เสี่ยงต่ำ	พื้นที่เสี่ยงปานกลาง	พื้นที่เสี่ยงสูง	พื้นที่อันตราย
คะแนน (ค่าดัชนี)	50 > R ≥ 0	70 > R ≥ 50	80 > R ≥ 70	100 ≥ R ≥ 80

สรุปเปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการกับที่กรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการ/แนวทางการนำมาปรับใช้กับโครงการ

จากการทบทวนบทความ Highway flood disater risk evaluation and management in China จะเห็นได้ว่า การกำหนดเขตพื้นที่เสี่ยงภัยบนทางหลวง จากภัยพิบัติน้ำท่วมมีการนำปัจจัย ในหลายๆ ด้านมาพิจารณาร่วมกัน ได้แก่ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ สภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดภัยพิบัติ และการแบกรับภัยพิบัติและความสูญเสีย และมีการแบ่งระดับพื้นที่เสี่ยงภัยออกเป็น 4 ระดับ คือ พื้นที่เสี่ยงต่ำ พื้นที่เสี่ยงปานกลาง พื้นที่เสี่ยงสูง และพื้นที่อันตราย ทำให้การประเมินความเสี่ยงครอบคลุมในทุกมิติและมีความละเอียดสูง อย่างไรก็ตาม ทางที่ปรึกษาไม่สามารถนำแนวทางการประเมินความเสี่ยงตามที่เสนอแนะในบทความฉบับนี้ มาใช้กับการดำเนินงานของโครงการได้ เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลและระยะเวลาการดำเนินงาน อย่างไรก็ตาม หากในอนาคต กรมทางหลวงสามารถกำหนดโครงการศึกษาเพื่อประเมินความเสี่ยงของถนนที่เกิดจากภัยพิบัติน้ำท่วม ตามแนวทางการดำเนินงานที่เสนอแนะในบทความฉบับนี้ ทางที่ปรึกษาเห็นว่า จะมีประโยชน์อย่างยิ่ง เพราะสามารถประเมินความเสี่ยงได้ครอบคลุมทุกมิติ ทำให้การวางแผนในการจัดสรรงบประมาณเพื่อบริหารความเสี่ยงมีความเหมาะสม และมีความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

2.2.5. Guidelines on Flood Disater Mitigation for Highway Engineers ประเทศอินเดีย

คู่มือแนวทางการปฏิบัติในการบรรเทาอุทกภัยสำหรับวิศวกรทางหลวงของประเทศอินเดียฉบับนี้ จะมีเนื้อหาครอบคลุมการวางแผน ออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษาถนนและโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม รวมถึงให้ความเข้าใจทั่วไปเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบเพื่อลดผลกระทบจากภัยพิบัติน้ำท่วม โดยมีความเข้าใจเกี่ยวกับอันตราย ความเปราะบาง และความเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง ก่อนและหลังเกิดภัยพิบัติ และงานฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างและบำรุงรักษาถนน และโครงสร้างพื้นฐานของถนนในพื้นที่ประสบภัยน้ำท่วม โดยร่างแนวทางปฏิบัติฯ ดังกล่าวได้รับการอนุมัติให้เผยแพร่จากสภา IRC ในการประชุมครั้งที่ 213 เมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2017 ที่เมือง Bengaluru (รัฐ Karnataka)

สำหรับแนวทางการปฏิบัติในการบรรเทาอุทกภัยสำหรับวิศวกรทางหลวงของประเทศอินเดีย สรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

1) การประเมินความเสี่ยงภัยน้ำท่วม

การประเมินความเสี่ยงจากน้ำท่วม โดยปกติจะถูกแบ่งออกเป็นหลายขั้นตอน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาทางแก้ไขที่เหมาะสม ทั้งในระดับประเทศ ท้องถิ่น หรือพื้นที่เฉพาะ ดังนี้

ขั้นที่ 1 : การระบุปัญหาน้ำท่วม หรือการจัดการน้ำผิวดินในทุกระดับ ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ การจัดทำแผนที่ และการสังเคราะห์ข้อมูล

ขั้นที่ 2 : การประเมินความเสี่ยงภัยน้ำท่วมเบื้องต้น เป็นการระบุแหล่งที่มาของน้ำท่วมที่อาจส่งผลกระทบต่อพื้นที่ตามแผนงาน หรือพื้นที่ที่ต้องการพัฒนา และประเมินถึงความเพียงพอหรือด้านอื่น ๆ ของข้อมูลจากแหล่งฐานข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อประเมินความเสี่ยงน้ำท่วมได้อย่างน่าเชื่อถือ ทั้งนี้การใช้แบบจำลองทางชลศาสตร์ที่ผ่านการพิสูจน์แล้ว สามารถช่วยในการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ และในการระบุขอบเขตของมาตรการลดผลกระทบที่เป็นไปได้ ตลอดจนข้อกำหนดที่จำเป็นต้องใช้ของการประเมินในขั้นรายละเอียด

ขั้นที่ 3 : การประเมินความเสี่ยงภัยน้ำท่วมโดยละเอียด เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์และทำความเข้าใจประเด็นทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยงจากน้ำท่วม เพื่อนำไปสู่การประเมินเชิงปริมาณของความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากความเสี่ยงภัยน้ำท่วม เพื่อนำไปสู่การออกแบบมาตรการลดผลกระทบทั้งทางด้านวิศวกรรม และมาตรการลดผลกระทบต่อประชาชน

2) การบริหารจัดการน้ำท่วม

สำหรับกิจกรรมในการบริหารจัดการน้ำท่วม ตามมาตรการป้องกันน้ำท่วม สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ มาตรการก่อนน้ำท่วม มาตรการหลังน้ำท่วม และงานป้องกันเหตุฉุกเฉิน ซึ่งมีรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

- มาตรการก่อนน้ำท่วม

มาตรการก่อนน้ำท่วมถูกกำหนดโดยมีเป้าหมายเพื่อช่วยลดความเสี่ยงจากน้ำท่วมในระยะยาว ซึ่งสามารถกำหนดได้โดยความพร้อมทางด้านทรัพยากรและเวลา รวมถึงสัณฐานวิทยาของแม่น้ำ อุทกวิทยาและลักษณะของแม่น้ำ ทั้งนี้ในการกำหนดมาตรการอาจเป็นได้ทั้งมาตรการเดียว หรือมาตรการผสม ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม โดยมาตรการก่อนน้ำท่วม สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 2 ส่วน คือ มาตรการที่เป็นโครงสร้าง และมาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง ดังนี้

- มาตการป้องกันที่เป็นโครงสร้าง

วิธีการทั่วไปในการจัดการกับปัญหาน้ำท่วมในอดีตนั้น จะเป็นมาตรการทางกายภาพเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำท่วมเข้าถึงศูนย์กลาง ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในแม่น้ำ Godavari, Krishna และสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ Cauvery ในประเทศอินเดียตอนใต้ และบางส่วนในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำสินธุ-คงคา จนถึงปัจจุบันเป้าหมายหลักของแผนป้องกันอุทกภัยที่อินเดียดำเนินการคือการใช้มาตรการเชิงโครงสร้าง เช่น

- การทำนบกั้นน้ำ กำแพงกันน้ำท่วม และกำแพงกันน้ำทะเล
- เขื่อนและอ่างเก็บน้ำ
- แอ่งกักเก็บน้ำธรรมชาติ
- การปรับปรุงช่องระบายน้ำ
- การปรับปรุงระบบระบายน้ำ
- การผันน้ำหลาก

- มาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง

มาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง เป็นมาตรการที่ใช้เพื่อป้องกันประชาชนจากน้ำท่วม โดยการพิจารณาการใช้พื้นที่ราบน้ำท่วมถึงอย่างเหมาะสม พร้อม ๆ กับที่อนุญาตให้มีที่ราบน้ำท่วมถึงในแม่น้ำได้เมื่อมีสถานการณ์จำเป็น โดยเทคนิคดังกล่าวช่วยให้สามารถใช้ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง เพื่อลดขนาดของภัยพิบัติและรักษาผลประโยชน์ไว้ได้ ซึ่งตัวอย่างมาตรการที่ไม่ใช่โครงสร้าง ได้แก่

- การคาดการณ์และการเตือนภัยน้ำท่วม
- การเพิ่มศักยภาพการสูบน้ำด้วยการติดตั้งระบบระบายน้ำฉุกเฉินชั่วคราวในจุดสำคัญ
- การออกแบบขนาดของเครื่องสูบน้ำให้เพียงพอ ต่อปริมาณฝนในภาวะวิกฤต
- แนวทางการบูรณาการลุ่มน้ำ

- การออกแบบระบบระบายน้ำ เช่น การบริหารจัดการน้ำในช่วงพายุฝน การจัดการน้ำหลากจากพายุโดยการควบคุมแหล่งต้นกำเนิด การสร้างแนวต้นไม้เพื่อกั้นทางน้ำไหล เป็นต้น

- มาตรการป้องกันน้ำท่วมฉุกเฉิน

มาตรการป้องกันน้ำท่วมฉุกเฉิน เป็นมาตรการชั่วคราวซึ่งถูกนำมาใช้ระหว่างเฝ้าระวังน้ำท่วมและการป้องกันพื้นที่ไม่ให้เกิดน้ำท่วม โดยการตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉินจะต้องมีประสิทธิภาพและรวดเร็วเพื่อฟื้นฟูสภาพพื้นที่ที่ได้รับความเสียหาย ดังนั้นเพื่อให้จัดการกับสถานการณ์น้ำท่วมฉุกเฉิน ความเร็วและประสิทธิภาพในการปฏิบัติการ อุปกรณ์ที่ใช้ควรจะต้อง

- รวดเร็วและง่ายต่อการใช้งาน
- ยืดหยุ่นและมีน้ำหนักไม่มาก
- เชื่อมต่อง่ายในแต่ละหน่วยใช้งาน
- ใช้วัสดุที่สามารถหาได้ในพื้นที่
- สามารถขนส่งได้ง่าย
- สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ซึ่งในเอกสารฉบับนี้ ได้ยกตัวอย่างเครื่อง และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานป้องกันน้ำท่วมฉุกเฉิน ประกอบด้วย

- ถุง Geotextile และทราย
- วัสดุสังเคราะห์ Geocomsite (เกเบี้ยนทรงกระบอก ติดกับวัสดุ Geotextile)
- แบริเออร์ป้องกันน้ำท่วมชั่วคราว

- มาตรการหลังน้ำท่วม เพื่อความปลอดภัยและการควบคุม

มาตรการหลังน้ำท่วม เพื่อความปลอดภัยและการควบคุม ประกอบด้วย

- การเตรียมโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการก่อสร้างงานป้องกันน้ำท่วมฉุกเฉิน
- แนวป้องกันน้ำท่วม เขื่อนกันน้ำท่วมฉุกเฉิน
- อุปกรณ์อำนวยความสะดวกเพื่อให้เกิดการระบายน้ำอย่างรวดเร็ว เช่น เครื่องสูบน้ำแรงดันสูง ท่อระบายน้ำชั่วคราวในพื้นที่เสี่ยงภัย เป็นต้น
- ดำเนินการติดตั้งแบริเออร์ป้องกันน้ำท่วม หรือกำแพงป้องกันน้ำท่วมทันที

- การเสริมสร้างโครงสร้างพื้นฐานของถนนแบบองค์รวม

เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงของถนนคันทางและผิวการจราจร และเพื่อลดผลกระทบในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง อาจจำเป็นต้องใช้โครงสร้างเดียว หรือหลายโครงสร้างร่วมกัน โดยประเภทของระบบที่จะนำมาใช้กับโครงสร้างขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่

- ความสามารถของระบบในการทนต่อการล้มเหลวทางอุทกพลศาสตร์และธรณีวิทยา
- ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ
- ความพร้อมของพื้นที่ การใช้พื้นที่ และผลกระทบทางสังคม
- การปรับระดับความสูงของโครงสร้างถนนและโครงสร้างรองรับการไหลผ่าน เช่น ท่อระบายน้ำ สะพาน เป็นต้น
- ความเป็นไปได้ในการก่อสร้างในพื้นที่ที่มีข้อจำกัด และสภาพอากาศที่อาจเปลี่ยนแปลงได้
- การประมาณการต้นทุนโครงการ
- ระยะเวลาในการดำเนินการ และกรอบระยะเวลาก่อสร้าง
- ความเป็นไปได้ในการรวบรวม และเคลื่อนย้ายเครื่องจักร/คนงาน เพื่อการก่อสร้าง
- หน่วยงานที่มีอำนาจในการดำเนินงาน
- สนธิสัญญา และมาตรฐานด้านการประกันคุณภาพและการติดตามตรวจสอบ
- ความยั่งยืน และผลกระทบจากระบบนิเวศในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง

3) มาตรการในการป้องกันน้ำท่วม

สำหรับการป้องกันโครงสร้างพื้นฐานของถนน บ้านเรือน และชุมชน จากความเสียหายของน้ำท่วม สามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- ระบุตำแหน่งที่อาจได้รับผลกระทบจากน้ำท่วม กำหนดความถี่ของการเกิดน้ำท่วม และระบุสิ่งที่อาจได้รับความเสียหายจากน้ำท่วม
- ใช้แผนที่น้ำท่วมและน้ำหลาก เพื่อระบุถึงความเสี่ยงต่อประชาชนและชุมชน รวมถึงเตรียมความพร้อมในการเผชิญเหตุฉุกเฉิน และวางแผนด้านวิศวกรรมในด้านการป้องกันน้ำท่วม
- ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบถึงจุดเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมล่วงหน้า
- ติดตั้งป้ายบอกระดับน้ำที่มีแนวโน้มจะก่อให้เกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่ชุมชน เพื่อให้มีการเตรียมความพร้อม
- จัดทำแผนปฏิบัติการชุมชนที่อธิบายถึงหน้าที่และขั้นตอนในการปฏิบัติเมื่อเผชิญเหตุน้ำท่วม

4) แนวทางการออกแบบการควบคุมน้ำท่วมและโครงสร้าง

สำหรับแนวทางการออกแบบการควบคุมน้ำท่วมและโครงสร้าง ในการศึกษาทบทวนครั้งนี้ จะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบคันทาง (Embankment) เป็นหลักโดยมี รายละเอียดดังนี้

การออกแบบคันทาง

เมื่อกล่าวถึงการวางแผน การออกแบบ และการก่อสร้างคันทาง ตัวเลือกอาจมีหลากหลายทั้งในด้านของวัสดุ ขั้นตอนการก่อสร้าง และเทคโนโลยีที่ใช้

ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ ได้แก่ ความสูงของคันทาง ระดับน้ำท่วมสูงสุด ระยะพ้นน้ำ ความกว้างด้านบน ความลาดชัน การออกแบบคันดิน (Berm) และการวิเคราะห์เสถียรภาพ ทั้งนี้กรมโยธาธิการและทางหลวงของประเทศญี่ปุ่น ได้จัดทำคู่มือการควบคุมน้ำท่วม เล่มที่ 1 (Flood Control Vol-1) ซึ่งกล่าวถึงมาตรฐานทางเทคนิคและแนวทางสำหรับการวางแผนและออกแบบ โดยมีข้อแนะนำดังนี้

- การกำหนดความสูงของคันทางควรพิจารณาจากระดับน้ำท่วมบวกด้วยความต้องการระยะพ้นน้ำ (Freeboard) รวมถึงอัตราการไหลที่คำนวณได้ ควรใช้ตามการออกแบบการระบายน้ำท่วมที่พิจารณาให้มีระยะพ้นน้ำแล้ว
- การประมาณระดับน้ำท่วมสูงสุดจะละเอียดได้ขึ้นอยู่กับข้อมูลเฉพาะพื้นที่ที่มีอยู่
- ความแม่นยำในการคาดการณ์ระดับความสูงของน้ำท่วม (High Flood Level, HFL) จะขึ้นอยู่กับข้อมูลเฉพาะที่มีอยู่ในพื้นที่ เนื่องจาก HFL เป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบคันทาง
- ระยะพ้นน้ำ (Freboard) ถูกกำหนดให้เป็นระยะขอบจากระดับน้ำท่วมออกแบบจนถึงระดับความสูงของสันแนวคันทาง โดยระยะพ้นน้ำจะขึ้นอยู่กับการออกแบบการระบายน้ำท่วม ซึ่งจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดใน**ตารางที่ 2.2-10** (ระหว่าง 0.6 เมตร ถึง 2.0 เมตร)

ตารางที่ 2.2-10 การกำหนดค่าระยะพ้นน้ำ (Freeboard)

การออกแบบระบบระบายน้ำท่วม Q (ลบ.ม./วินาที)	ระยะพ้นน้ำ (เมตร)
< 200	0.6
200 - 500	0.8
500 – 2,000	1.0
2,000 – 5,000	1.2
5,000 – 10,000	1.5
> 10,000	2.0

ที่มา : Flood Control Vol 1, Technical Standards and Guidelines for Planning and Design, Deptt. of Public Works and Highway, Japan

- ความกว้างของคันทางด้านบน จะมีไว้เพื่อใช้ในการขนส่งวัสดุในการก่อสร้าง และบำรุงรักษา ดังนั้นความกว้างด้านบนควรกว้างพอให้เป็นถนน 2 ช่องการจราจร หรือต้องมีความกว้างอย่างน้อย 3 เมตร ดังแสดงใน**ตารางที่ 2.2-11**

ตารางที่ 2.2-11 ความกว้างของสันคันทาง

การออกแบบระบบระบายน้ำท่วม Q (ลบ.ม./วินาที)	ความกว้างของสันคันทาง (เมตร)
< 500	3.0
500 – 2,000	4.0
2,000 – 5,000	5.0
5,000 – 10,000	6.0
> 10,000	7.0

ที่มา : Flood Control Vol 1, Technical Standards and Guidelines for Planning and Design, Deptt. of Public Works and Highway, Japan

ในการออกแบบควรทราบถึงความสามารถในการซึมน้ำของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างคันทางด้วย ซึ่งจะขึ้นอยู่กับดินที่นำมาใช้ในการก่อสร้างเป็นหลัก ดังแสดงใน**ตารางที่ 2.2-12**

ตารางที่ 2.2-12 ค่าความลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) สำหรับวัสดุถมแบบต่างๆ

ประเภทวัสดุถม	ค่าความลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient)
ดินเหนียว	1 : 4
ทรายปนดินเหนียว	1 : 5
ดินทราย	1 : 6

ที่มา : CWC Handbook for Flood Protection, Anti Erosion and River Training Works, 2012.

การออกแบบความลาดชัน (Slope) มีความสำคัญ และขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของคันทาง ในการออกแบบความลาดชัน จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น สภาพของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง วิธีก่อสร้าง ความสูงของคันกั้นน้ำ และระยะเวลาที่คลื่นกระทำต่อคันกั้นน้ำ โดยความลาดชันริมแม่น้ำ ควรมีลักษณะราบเรียบกว่ามุมกอง (Angle of Repose) ของวัสดุที่นำมาถมตามข้อแนะนำใน**ตารางที่ 2.2-13** นอกจากนี้อาจต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติมด้วยการวิเคราะห์เสถียรภาพ สำหรับแนวทางการออกแบบความลาดชันของคันทางกรณีที่มี Berm ดังแสดงใน**ตารางที่ 2.2-14**

ตารางที่ 2.2-13 การกำหนดค่าความลาดชันตามความสูงของคันทาง

ความสูงของคันกั้นน้ำ	ค่าความลาดชันที่แนะนำ
4.5 เมตร	1 : 2
> 4.5 เมตร	1 : 3

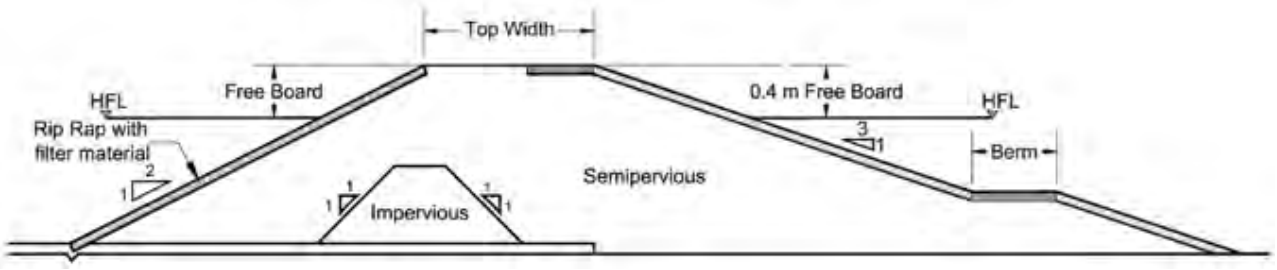
ที่มา : CWC Handbook for Flood Protection, Anti Erosion and River Training Works, 2012.

ตารางที่ 2.2-14 การกำหนดค่าความลาดชันตามความสูงของคันทาง กรณีที่มี Berm

ความสูงของคันกั้นน้ำ	ค่าความลาดชันที่แนะนำ
4.5 เมตร	1 : 2 และมีความกว้างของคันดิน (Berm)ที่ เหมาะสม
> 4.5 เมตร	1 : 3 และมีความกว้างของคันดิน (Berm) 1.5 เมตร

ที่มา : CWC Handbook for Flood Protection, Anti Erosion and River Training Works, 2012.

การจัดการระบายน้ำเป็นส่วนสำคัญของการออกแบบ สำหรับคันทางทั่วไป จะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญแสดงดัง**รูปที่ 2.2-4** โดยควรมีท่อระบายตามแนวยาวบนคันดินด้านข้าง (Berm) และท่อระบายน้ำตามแนวขวางในบริเวณที่เหมาะสมเพื่อระบายน้ำออกจากท่อระบายน้ำตามแนวยาว



รูปที่ 2.2-4 การแสดงพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบคันทาง

สรุปเปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการกับที่กรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการ/แนวทางการนำมาปรับใช้กับโครงการ

จากการทบทวนคู่มือแนวทางการปฏิบัติในการบรรเทาอุทกภัยสำหรับวิศวกรทางหลวงของประเทศอินเดีย พบว่า การประเมินความเสี่ยงของพื้นที่น้ำท่วมได้มีการแนะนำให้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการดำเนินงานในโครงการศึกษาครั้งนี้ ในขณะที่การบริหารจัดการน้ำท่วมได้แบ่งกิจกรรมการดำเนินงานออกเป็นระยะต่างๆ ซึ่งคล้ายคลึงกับแนวทางที่กรมทางหลวงดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน คือ กิจกรรมในมาตรการก่อนเกิดน้ำท่วม หลังเกิดน้ำท่วม และระหว่างเกิดน้ำท่วมที่เรียกว่างานป้องกันฉุกเฉิน อย่างไรก็ตาม รายละเอียดในบางกิจกรรมหากต้องดำเนินการตามคู่มือฉบับนี้ อาจอยู่นอกเหนือขอบเขตหน้าที่รับผิดชอบของกรมทางหลวง อาทิเช่น การปรับปรุงซ่อมแซม อ่างเก็บน้ำหรือแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือแนวทางการผันน้ำหลากเป็นต้น แต่ทั้งนี้ในหลายๆ กิจกรรมที่เสนอไว้ในคู่มือฉบับนี้ ทางที่ปรึกษาเห็นว่า กรมทางหลวงสามารถนำมาประยุกต์และปรับใช้ภายในเขตพื้นที่รับผิดชอบได้เช่นกัน อาทิเช่น การสร้างแนวต้นไม้เพื่อลดความรุนแรงของกระแสน้ำที่จะไหลบ่า การจัดทำแผนที่น้ำท่วมและน้ำหลากเพื่อระบุถึงความเสี่ยงบนทางหลวง การจัดทำแผนประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบถึงจุดเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมล่วงหน้า และการจัดทำแผนปฏิบัติการชุมชนที่อธิบายถึงหน้าที่และขั้นตอนในการปฏิบัติเมื่อเผชิญเหตุน้ำท่วมซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความมีส่วมร่วมกับภาคประชาชนและหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

สำหรับในส่วนของการออกแบบคันทางเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นจากน้ำท่วมนั้น ในคู่มือฉบับนี้ได้กำหนดเงื่อนไขและหลักเกณฑ์ในการออกแบบที่ชัดเจน ซึ่งทางที่ปรึกษาสามารถนำมาปรับใช้ในขั้นตอนของการออกแบบรายละเอียด กรณีที่ที่ความจำเป็นต้องปรับปรุงคันทางใหม่ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร ได้ต่อไป

2.2.6. การบริหารจัดการสถานการณ์ภัยพิบัติ กรมทางหลวงชนบท

ในการศึกษาทบทวนแนวทางการบริหารจัดการปัญหาการภัยพิบัติน้ำท่วมบนทางหลวง ที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงชนบท ทางที่ปรึกษาได้ทบทวนจากคู่มือ การบริหารจัดการสถานการณ์ภัยพิบัติ กรมทางหลวงชนบท พ.ศ. ฉบับปรุง พ.ศ. 2560 ซึ่งในคู่มือดังกล่าว ได้กำหนดแนวทางปฏิบัติเพื่อเตรียมความพร้อมรองรับสถานการณ์ภัยพิบัติน้ำท่วม โดยแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ ก่อนเกิดเหตุการณ์ ระหว่างเกิดเหตุการณ์ และ หลังเกิดเหตุการณ์ ซึ่งมีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

1) ก่อนเกิดเหตุการณ์

ปกติฤดูฝนของประเทศไทยจะเริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมของทุกปี จะมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับลมมรสุม ในบางครั้งอาจเกิดพายุฝนฟ้าคะนองกระจายในบางพื้นที่ ส่งผลให้ต้นไม้ใหญ่ล้มทับกีดขวาง การจราจรอาจเกิดความสูญเสียในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนผู้ใช้เส้นทาง และอาจก่อให้เกิดภัยพิบัติต่างๆ เช่น น้ำป่าไหลหลากกัดเซาะถนนหรือสะพานขาด ถนนถูกน้ำท่วมขัง ดินโคลนถล่ม เป็นต้น กรมทางหลวงชนบท จึงดำเนินการเตรียมความพร้อมก่อนเกิดเหตุการณ์ Preparation ดังนี้

(1) ดำเนินการทำความสะอาดช่องทางระบายน้ำ/ตัดหญ้า/กำจัดวัชพืชที่ขวางทางระบายน้ำ เช่น ท่อลอด สะพาน เป็นต้น

(2) ดำเนินการตัดแต่งกิ่งไม้แห้งที่อาจตกหล่น ล้มทับกีด ขวางเส้นทางจราจร และจัดชุดลาดตะเวณเส้นทางที่มี ความเสี่ยง กรณีเกิดเหตุการณ์พายุฝนฟ้าคะนอง และมี ต้นไม้ล้มบนเส้นทางหลวงชนบทให้เข้าดำเนินการ เคลียร์เส้นทางโดยเร็ว

(3) เตรียมความพร้อมด้านบุคลากร โดยการจัดให้มีการอบรมเจ้าหน้าที่ให้มีความรู้ ทักษะ ในการปฏิบัติงาน ทบทวนแนวทางในการดำเนินการเมื่อเกิดเหตุการณ์ เช่น การรายงานสถานการณ์ การทดลอง ประกอบสะพานเหล็กชั่วคราว เป็นต้น

(4) เตรียมเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ เพื่อให้ความช่วยเหลือ ประชาชนอย่างรวดเร็วทันเหตุการณ์ อาทิเช่น น้ำมัน เชื้อเพลิง เครื่องมือ เครื่องจักรกล ป้ายเตือน ต่างๆ

(5) ตรวจสอบเพื่อป้องกันทางหลวงชนบทในความรับผิดชอบ (Prevention) โดยเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยง/พื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบ หรือเคยได้รับผลกระทบจากเหตุภัยพิบัติที่ผ่านมา ตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรง ของถนนและสะพาน รวมทั้งติดตามสภาพอากาศอย่างใกล้ชิด

2) ระหว่างเกิดการณ์

หน่วยดำเนินการในพื้นที่เมื่อทางหลวงชนบทในความรับผิดชอบได้รับผลกระทบ จะต้องรายงานสถานการณ์ผ่านระบบ FMS (Flood Management System) และติดตามสถานการณ์อำนวยการแก้ปัญหาที่ เกิดขึ้นในทุกกรณี และมีแนวทางการดำเนินงานดังนี้

(1) ติดตั้งป้ายเตือนประชาชนและป้ายแนะนำเส้นทางเลี่ยงบริเวณต้นทาง ให้ทราบถานการณ์ ผ่านได้/ผ่านไม่ได้

(2) นำวัสดุ อุปกรณ์ เช่น กระสอบทราย ป้องกันน้ำท่วมช่องทางจราจรสายหลัก

(3) ติดตั้งหลักนำทางทั้ง 2 ข้าง เพื่อกำหนดช่อง การจราจร ป้องกันไม่ให้รถวิ่งออกนอกแนว เส้นทาง

(4) เส้นทางสำคัญที่เป็นแหล่งชุมชน เส้นทางอพยพ หรือขนส่งเครื่องอุปโภค บริโภค หากการสัญจรไม่สามารถผ่านได้ จะต้องเร่งกู้เส้นทางนั้นให้กลับมาใช้สัญจรได้ตามปกติ

(5) กรณีดินไหล่เขาข้างทาง Slide ปิดทับเส้นทาง จะดำเนินการนำเครื่องจักรเข้าเกลี่ยดินออกจากเส้นทางเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับประชาชนในการสัญจร

(6) กรณีถนนขาด/ คอสะพานขาด ดำเนินการติดตั้งสะพานแบรีย์เพื่อเชื่อมเส้นทาง

(7) กรณีระดับน้ำสูง รถเล็กสัญจรผ่านไม่ได้ ให้จัดรถบรรทุก 6 ล้อ สำหรับบริการ ประชาชนให้เข้าถึงที่พักอาศัยได้สะดวกยิ่งขึ้น

(8) การบริหารจัดการเครื่องจักร เพื่อบูรณาการกับ หน่วยงานอื่น เมื่อเกิดภัยพิบัติหน่วยงานใน พื้นที่ประสบภัยพิบัติสามารถขอความช่วยเหลือ จากสำนักงานทางหลวงชนบทในพื้นที่นั้นๆ โดยสำนักงานทางหลวงชนบทจะสั่งการให้ แขวงทางหลวงชนบทและหมวดทางหลวงชนบทในพื้นที่นั้นๆ ลงพื้นที่ให้ความช่วยเหลือ เช่น สนับสนุนเครื่องจักรในการเปิดการจราจร จัดพาหนะขนส่งเครื่องอุปโภค บริโภค หรือ รับส่งประชาชนให้เข้าถึงพื้นที่พักอาศัย และ อื่นๆตามที่หน่วยงานร้องขอ

(9) ประชาสัมพันธ์หน่วยงานและบริการประชาชน กรมทางหลวงชนบทและหน่วยงานในพื้นที่

(10) ใช้งบฉุกเฉินจากเหตุภัยพิบัติดำเนินการในการเตรียมความพร้อม ช่วยเหลือประชาชน พร้อมการซ่อมแซมชั่วคราว เพื่อให้สามารถเปิดการจราจรภายใน 7 วัน หลังเหตุการณ์ ปกติ เพื่อให้ประชาชนสามารถสัญจรไปมาได้

3) หลังเกิดเหตุการณ์

(1) ดำเนินการฟื้นฟู (Recover) ทางหลวงชนบทที่ชำรุดเสียหายจากสถานการณ์อุทกภัย โดยระยะเร่งด่วนจะเข้าฟื้นฟูให้ประชาชนสัญจรไปมาได้ชั่วคราว ภายใน 7 วัน

(2) ดำเนินการ สำรวจ ออกแบบ ประมาณราคา และตรวจสอบความเสียหายเพื่อจัดทำแผนของบประมาณในโอกาสต่อไป โดยขอบเขตของงานฟื้นฟู ประกอบด้วย

- งานซ่อมสร้างฟื้นฟูทางหลวงชนบท
- งานก่อสร้างท่อลอดเหลี่ยม เพิ่มช่องทางระบายน้ำ
- งานก่อสร้างสะพาน เพิ่มช่องทางระบายน้ำ
- งานก่อสร้างท่อลอดกลม และรางระบายน้ำ เพิ่มช่องทางระบายน้ำ

สรุปเปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการกับที่กรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการ/แนวทางการนำมาปรับใช้กับโครงการ

จากการทบทวนการบริหารจัดการสถานการณ์ภัยพิบัติ กรมทางหลวงชนบท พบว่า มีแนวทางการดำเนินงานที่คล้ายคลึงกับกรมทางหลวง (ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ใน**หัวข้อ 2.4.1**) กล่าวคือ ได้กำหนดกรอบการดำเนินงานออกเป็น 3 ระยะ คือ ก่อนเกิดภัยพิบัติ ระหว่างเกิดภัยพิบัติ และหลังเกิดภัยพิบัติ โดยในแต่ระยะก็มีแนวทางการปฏิบัติงานที่คล้านคลึงกันเช่นกัน อย่างไรก็ตาม แนวทางปฏิบัติในการบริหารจัดการอุทกภัย ของกรมทางหลวง ซึ่งอ้างอิงตาม “คู่มือการปฏิบัติงานของกรมทางหลวง กรณีเกิดภัยพิบัติ พ.ศ. 2553” มีรายละเอียดที่มากกว่าและชัดเจนกว่า กล่าวคือ มีการกำหนดโครงสร้างการบริหารตามตำแหน่ง ตั้งแต่ส่วนกลางไปจนถึงหน่วยงานปฏิบัติในพื้นที่ตามระดับความรุนแรงของภัยพิบัติที่เกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ภัยพิบัติขนาดใหญ่ที่มีผลกระทบร้ายแรงอย่างยิ่ง ซึ่งการจัดการภัยพิบัติในระดับนี้มีผู้รับผิดชอบ ได้แก่ นายกรัฐมนตรี หรือรองนายกรัฐมนตรีที่นายกรัฐมนตรีมอบหมาย จะมีรองอธิบดีฝ่ายบำรุงทางเป็นผู้อำนวยการศูนย์บัญชาการของกรมทางหลวง แต่หากเป็นภัยพิบัติที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปหรือมีขนาดเล็ก ซึ่งสามารถบริหารจัดการได้โดยหน่วยงานในพื้นที่ที่เกิดเหตุ จะมีผู้อำนวยการแขวงทางหลวงในพื้นที่ เป็นผู้อำนวยการศูนย์บัญชาการของกรมทางหลวง เป็นต้น

2.2.7. คู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงาน มาตรฐานการระบายน้ำ กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย

กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น ในฐานะหน่วยงานส่งเสริมสนับสนุนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และด้วยความร่วมมือจากสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) ได้จัดทำมาตรฐานการบริหารและการบริการสาธารณะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พร้อมกับ ได้ประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ จากผู้แทนองค์การบริหารส่วน จังหวัด เทศบาล องค์การบริหารส่วนตำบล สมาคมองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้มาตรฐานที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบริหาร และให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล เกิดประโยชน์และความพึงพอใจแก่ประชาชน

สำหรับคู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงาน มาตรฐานการระบายน้ำฉบับนี้ ได้มีการนำเสนอข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ในการออกแบบทางระบายน้ำไว้ ซึ่งสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1) ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ออกแบบด้านอุทกวิทยา

- อัตราน้ำไหลนองสูงสุดคำนวณจากปริมาณฝนออกแบบที่ตกในบริเวณพื้นที่ที่จะระบายน้ำในรอบ 2-10 ปี ปกติใช้เกณฑ์ปริมาณฝนออกแบบในรอบปีการเกิดหรือคาบพินิจ 5 ปี แต่สำหรับบริเวณชุมชนไม่หนาแน่นและมีปัญหาน้ำท่วมขังเพียงเล็กน้อยใช้รอบปีการเกิดของฝนออกแบบ 2 ปี ในทางตรงกันข้ามหากเป็นบริเวณที่มีชุมชนหนาแน่น ย่านพาณิชยกรรมและธุรกิจการค้า ซึ่งเมื่อเกิดน้ำท่วมจะมีความเสียหายค่อนข้างมากและเป็นอุปสรรคต่อการสัญจรให้ใช้รอบปีการเกิดของฝนออกแบบ 10 ปี
- ปริมาณฝนออกแบบขึ้นอยู่กับรอบปีการเกิดและระยะเวลาที่ฝนตกโดยคำนวณได้จากกราฟความสัมพันธ์ของความเข้ม-ระยะเวลาที่ตก-และความถี่ของฝน
- ปริมาณน้ำนองทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำ คือปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการใช้น้ำในพื้นที่
- ปริมาณน้ำเสียที่ไหลลงทางระบายน้ำ (กรณีระบบรวม) จะเป็นสัดส่วนกับ ปริมาณน้ำที่ประชากรในพื้นที่ใช้แต่ละวัน โดยมีสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำที่ประชากรใช้ทั้งหมด สำหรับอัตราการใช้น้ำของประชากรกำหนดให้อยู่ช่วงพิสัย 100-200 ลิตร/คน/วัน โดยกำหนดให้ชุมชนขนาดเล็ก หรือมีความหนาแน่นน้อยใช้น้ำ 100 ลิตร/คน/วัน และชุมชนขนาดใหญ่หรือมีความหนาแน่นมากใช้น้ำ 200 ลิตร/คน/วัน
- การคำนวณปริมาณน้ำนองสูงสุดสำหรับพื้นที่รับน้ำฝนหรือพื้นที่ที่จะระบายน้ำมีขนาดเล็กไม่เกินกว่า 25 ตารางกิโลเมตร ใช้สูตร Rational Formula

2) ข้อกำหนดและหลักเกณฑ์การออกแบบด้านชลศาสตร์

- การออกแบบขนาดท่อจะถือว่าการไหลในท่อระบายน้ำหรือรางระบายน้ำเป็นแบบเสมอต้นเสมอปลาย (Uniform Flow) และจะใช้สมการแมนนิ่ง (Manning's Formula) เพื่อคำนวณหาความจุและขนาดท่อ
- สำหรับข้อกำหนดทางด้านชลศาสตร์ที่สำคัญ มีดังนี้
  - ขนาดท่อระบายจะต้องสัมพันธ์กับอัตราการไหลออกแบบ (Q) และตรวจสอบความเร็วการไหลในท่อไม่ควรจะน้อยกว่า 0.75 เมตร/วินาที เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการตกตะกอนสะสมในเส้นท่อและขนาดท่อเล็กที่สุดเท่ากับ Ø 0.40 เมตร
  - ความลาดชันของท่อระบายน้ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40 เมตร ไม่ควรจะต่ำกว่า 1: 500 และของท่อระบายน้ำที่มีขนาดใหญ่ต้องไม่เกินกว่า 1: 1,000
  - เพื่อให้การบำรุงรักษาเป็นไปด้วยความสะดวก เช่น การทำความสะอาดและขุดลอกตะกอนทางระบายน้ำแบบท่อจะกำหนดให้มีบ่อพักน้ำเป็นระยะ โดยระยะห่างของแต่ละบ่อ พักอยู่ระหว่าง 6-12 เมตร ตามตำแหน่งที่เป็นจุดเชื่อมต่อหรือท่อแยก
  - ทางระบายน้ำในถนนซอยแคบ หรือความกว้างน้อยกว่า 5.00 เมตร ซึ่งไม่สามารถจัดทำทางเท้าได้ให้จัดทำรางระบายน้ำตื้นรูปตัว V เพื่อรวบรวมน้ำและให้ไหลลงท่อระบายน้ำตามตำแหน่งของบ่อพักน้ำแนวทางระบายน้ำอาจทำได้ทั้งสองข้างหรือข้างเดียวก็ได้ตามความเหมาะสม

สรุปเปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการกับที่กรมทางหลวงที่ได้เคยดำเนินการ/แนวทางการนำมาปรับใช้กับโครงการ

จากผลการทบทวนคู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงาน มาตรฐานการระบายน้ำ กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย จะเห็นได้ว่า เกณฑ์การออกแบบระบบระบายน้ำฝน จะกำหนดไว้ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 2-10 ปี ซึ่งการกำหนดจะขึ้นอยู่กับความนาแน่นของชุมชน และสภาพทางเศรษฐกิจของพื้นที่ ในขณะที่การออกแบบระบบระบายน้ำ (ระบบระบายน้ำฝน) ของกรมทางหลวงจะกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำไว้ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี แต่สำหรับทางหลวงสายหลักหรืออยู่ในเขตพื้นที่สำคัญ จะกำหนดการออกแบบไว้ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี

นอกจากนี้ในคู่มือมาตรฐานการปฏิบัติงาน มาตรฐานการระบายน้ำ กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย ยังได้กำหนดให้มีการนำปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่ชุมชนมารวมกับปริมาณน้ำฝนเพื่อกำหนดเป็นอัตราการไหลออกแบบไว้ด้วย ในขณะที่การออกแบบระบายน้ำของกรมทางหลวงจะพิจารณาเฉพาะน้ำฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำเท่านั้น ซึ่งในประเด็นนี้ทางที่ปรึกษาเห็นว่า ในเขตชุมชนเมืองที่มีประชากรอาศัยหนาแน่น อาจมีความจำเป็นจะต้องนำปริมาณน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากชุมชนเข้ามาร่วมในการออกแบบระบบท่อระบายน้ำบนทางหลวงต่อไปในอนาคตด้วย

2.3. การทบทวนแผนการบริหารจัดการอุทกภัยของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในบริเวณพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชรรวมถึงลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำยม

ในการทบทวนแผนการบริหารจัดการอุทกภัยของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในบริเวณพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชรรวมถึงลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำยม ทางที่ปรึกษาจะมุ่งเน้นไปที่โครงการที่เกี่ยวข้องกับ การจัดการด้านระบายน้ำ การวางระบบป้องกันน้ำท่วม ตลอดจนการบริหารจัดการน้ำของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย กรมชลประทาน สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ และกรมโยธาธิการและผังเมือง โดยรายละเอียดของโครงการต่างๆ ของแต่ละหน่วยงานสามารถแสดงได้ดังนี้

2.3.1. สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ

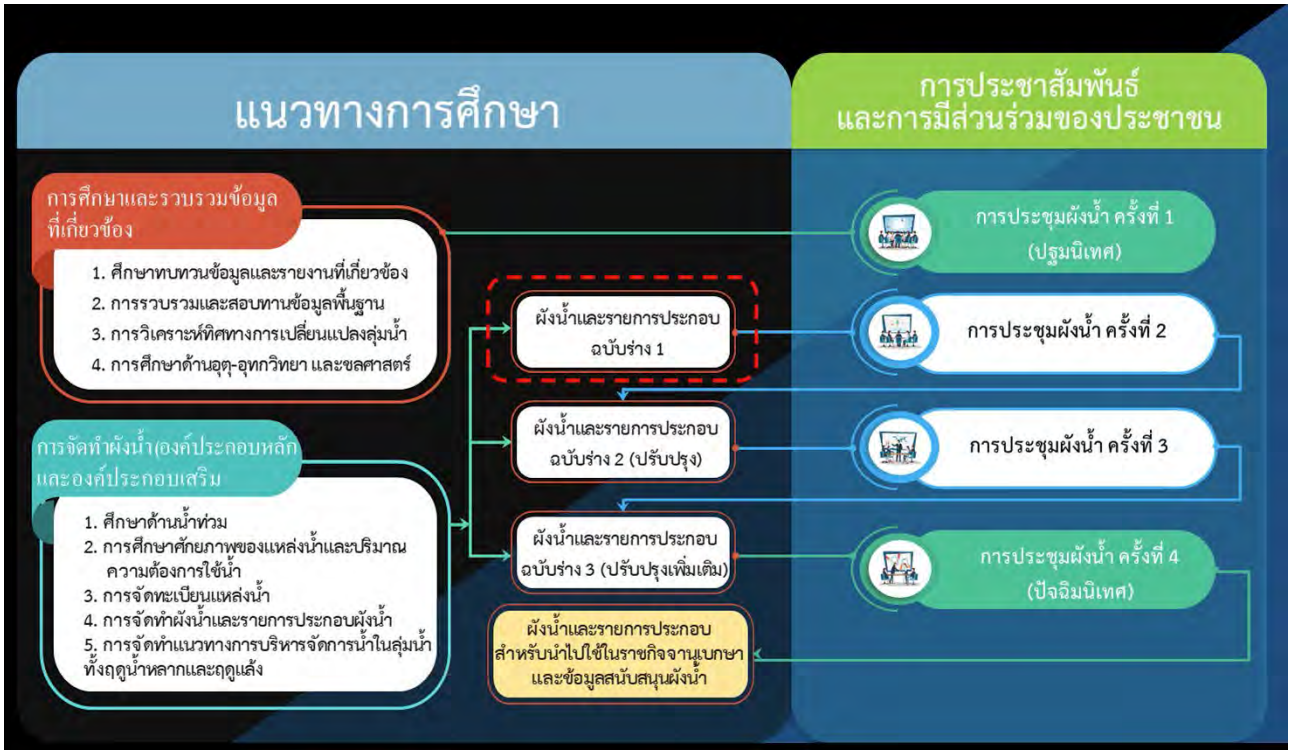
2.3.1.1. โครงการจัดทำผังน้ำ ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน

จากการรวบรวมข้อมูลโครงการจัดทำผังน้ำ ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน จากเอกสารประกอบการประชุมผังน้ำครั้งที่ 2 เมื่อช่วงเดือนตุลาคม 2565 พบว่า โครงการมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ การวิเคราะห์ และการจัดทำผังน้ำลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน ตามพระราชบัญญัติทรัพยากรน้ำ พ.ศ. 2561 การจัดทำข้อเสนอแนะการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อยู่ในระบบทางน้ำตามผังน้ำ การใช้ข้อมูลผังน้ำประกอบการสนับสนุนแผนป้องกันและแก้ไขภาวะน้ำแล้ง แผนป้องกัน และแก้ไขภาวะน้ำท่วม และการจัดทำระบบฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับผังน้ำ โดยพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน ตามพระราชกฤษฎีกากำหนดลุ่มน้ำ พ.ศ. 2564 เมื่อวันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 โดยความหมายของ “ผังน้ำ” ตามมาตรา 4 ในพระราชบัญญัติทรัพยากรน้ำ พ.ศ. 2561 เป็นดังนี้

“ผังน้ำ” หมายความว่า แผนที่หรือแผนผังแสดงระบบทางน้ำที่มีน้ำไหลผ่าน ซึ่งเชื่อมโยงกันตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงทางออกสู่พื้นที่แหล่งน้ำ ทะเล หรือทางออกทางน้ำระหว่างประเทศ ซึ่งระบบทางน้ำดังกล่าวครอบคลุมทั้งแม่น้ำ ลำคลอง ห้วย หนอง บึง กุด ป่าบุ่ง ป่าทาม พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่แหล่งกักเก็บน้ำ พื้นที่ทางน้ำหลาก พื้นที่น้ำนอง พื้นที่ลุ่มต่ำ ทางน้ำหรือพื้นที่อื่นใดที่มีลักษณะทำนองเดียวกันไม่ว่าจะเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้น โดยทางน้ำดังกล่าวอาจมีน้ำไหลผ่านตลอดทั้งปีหรือบางช่วงเวลาก็ได้

การศึกษาเพื่อจัดทำผังน้ำลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน โครงการฯ จะดำเนินการสำรวจรวบรวม และทบทวนข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำ สภาพปัญหาและสาเหตุการเกิดอุทกภัยและภัยแล้ง การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา อุทกวิทยา และ ชลศาสตร์ ศึกษาสถานการณ์น้ำท่วมและจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์ของลุ่มน้ำหลักและลุ่มน้ำสาขา ศึกษาศักยภาพของแหล่งน้ำและปริมาณความต้องการใช้น้ำ จัดทำทะเบียนแหล่งน้ำและข้อมูลแหล่งน้ำ ในด้านการสำรวจ ประกอบด้วย งานสำรวจวางหมุดหลักฐาน งานจัดทำแผนที่ภูมิประเทศโครงการ งานสำรวจลำน้ำ สิ่งปลูกสร้างหรือโครงสร้างพื้นฐานที่ก่อสร้างในทางน้ำ งานสำรวจค่าระดับน้ำท่วมที่เคยเกิดขึ้นในอดีต (Flood Mark) และงานสำรวจความลึกแหล่งน้ำ เพื่อจัดทำ

ผังน้ำและรายการประกอบผังน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ผังน้ำในรูปแบบแผนที่ แผนผัง รายการประกอบผัง และระบบฐานข้อมูล จัดทำแนวทางการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำทั้งฤดูน้ำหลากและฤดูแล้ง และดำเนินงานการประชาสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมของประชาชนเพื่อให้เกิดความเข้าใจต่อการดำเนินโครงการอย่างถูกต้องและต่อเนื่อง ได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจากองค์กรต่างๆ และประชาชน ในทุกระดับ ดังแสดงขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงานใน**รูปที่ 2.3-1**



รูปที่ 2.3-1 ขอบเขตและขั้นตอนการดำเนินงาน

จากข้อมูลเอกสารประกอบการประชุมครั้งที่ 2 ดังกล่าวเป็นการนำเสนอร่างผังน้ำเพื่อให้ผู้มีส่วนได้เสียพิจารณาและสำรวจความคิดเห็น โดยแยกผลการศึกษาออกเป็น 4 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน ซึ่งโครงการกำหนดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านถนน เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมทางหลวงในพื้นที่จังหวัดสุโขทัยและกำแพงเพชร อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิง และลุ่มน้ำยม ดังนั้นผลการจัดทำร่างผังน้ำและรายการประกอบผังน้ำของทั้ง 2 ลุ่มน้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ลุ่มน้ำปิง

โครงการฯ ได้ทำการรวบรวมสถานการณ์อุทกภัยของพื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงปี 2551 – 2564 และสามารถสรุปสาเหตุและลักษณะการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนบน พบว่า ลำน้ำปิงสายหลักปัญหาเกิดจากฝนที่ตกหนักในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน ทำให้น้ำในแม่น้ำปิงไหลล้นตลิ่ง และมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่า การขยายตัวของตัวเมืองอย่างไร้ทิศทาง ตลอดจนการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนกีดขวางรุกเส้นทางการไหลของน้ำ และการตื้นเขินของแม่น้ำปิง ปัญหาตามลำน้ำสาขา คือ สภาพภูมิประเทศและความลาดชันของพื้นที่และลำน้ำสาขา เมื่อฝนตกหนักในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ปริมาณน้ำหลากจึงไหลลงสู่ลำน้ำธรรมชาติอย่างรวดเร็วประกอบกับสภาพลำน้ำซึ่งบางแห่งและบางช่วงมีสภาพตื้นเขิน หรือมีสิ่งก่อสร้าง กีดขวางการไหลของน้ำ ในส่วนของพื้นที่ลุ่มน้ำบริเวณลุ่มน้ำปิงตอนล่างมีไม่มากนัก เนื่องจากมีอ่างเก็บน้ำเขื่อนภูมิพล คอยควบคุมจัดการปริมาณน้ำหลากในช่วงฤดูฝนได้เป็นอย่างดี บริเวณที่ประสบปัญหาอยู่เสมอ คือบริเวณจุดบรรจบปากแม่น้ำวัง เนื่องจากน้ำในแม่น้ำวังไหลลงแม่น้ำปิงไม่ทัน ทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่ทำการเพาะปลูก โดยพบว่า จังหวัดเชียงใหม่มีพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยรวมทุกจังหวัดมากที่สุด โดยมีพื้นที่เสี่ยงอุทกภัย 0.83 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.86 ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ส่วนจังหวัดที่มีพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยรวมทุกระดับน้อยที่สุด คือ จังหวัดตาก คิดเป็นพื้นที่ 0.17 ล้านไร่ หรือร้อยละ 0.79 ของพื้นที่ลุ่มน้ำปิง

ทางโครงการฯ ได้จัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อจำลองสภาพพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของพื้นที่โครงการ โดยแบ่งกรณีศึกษาต่างๆ ออกเป็น 5 กรณี ตามองค์ประกอบของโครงข่ายทางน้ำเพื่อการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและรูปแบบการใช้ที่ดิน รายละเอียดเป็นดังนี้

- **กรณีที่ 1** กำหนดขอบเขตผังน้ำจากสภาพพื้นที่และระบบสาธารณูปโภค (โครงข่ายถนน และช่องเปิดต่าง ๆ) ในสภาพปัจจุบัน
- **กรณีที่ 2** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการปรับปรุงโครงข่ายถนนและช่องเปิดต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ผังน้ำไม่ให้เกิดการกีดขวางทางน้ำ
- **กรณีที่ 3** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการพัฒนาโครงการที่อยู่ในแผนของหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีความชัดเจนในการดำเนินการ
- **กรณีที่ 4** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการปรับปรุงโครงข่ายถนนและช่องเปิดต่าง ๆ ในพื้นที่ผังน้ำร่วมกับการพัฒนาโครงการที่อยู่ในแผนของหน่วยงานต่าง ๆ และการเสนอเพิ่มเติมโดยที่ปรึกษาของโครงการฯ
- **กรณีที่ 5** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ การพัฒนาเมืองหรือพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญในลุ่มน้ำที่อาจจะส่งผลกระทบในพื้นที่ผังน้ำร่วมกับการพัฒนาโครงการที่อยู่ในแผนของหน่วยงานต่าง ๆ และการเสนอเพิ่มเติมโดยที่ปรึกษาของโครงการฯ

ซึ่งที่ปรึกษาของโครงการฯ ได้เสนอเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายน้ำของลำน้ำสายสำคัญ โดยขุดลอกบริเวณท้องน้ำที่ตื้นเขินเป็นระยะทาง 28.09 กิโลเมตร และเสนอให้สร้าง/จัดทำพื้นที่ปิดล้อมเพื่อป้องกันน้ำท่วมที่คาบอุบัติ 100 ปี บริเวณพื้นที่ชุมชนและเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำ 28 พื้นที่ โดยในส่วนของพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร มีพื้นที่ชุมชนและเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดที่เสนอจัดทำระบบพื้นที่ปิดล้อม จำนวน 2 อำเภอ ดัง**ตารางที่ 2.3-1**

ตารางที่ 2.3-1 พื้นที่ชุมชนและเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำที่เสนอจัดทำระบบพื้นที่ปิดล้อม

จังหวัด	อำเภอ	พื้นที่ดำเนินการจัดทำแผนหลักฯ	พื้นที่รับประโยชน์
กำแพงเพชร	เมืองกำแพงเพชร	ทม.กำแพงเพชรและพื้นที่ต่อเนื่อง	ทม.หนองปลิง อบต.สระแก้ว ทม.กำแพงเพชร ทต.เทพนคร
		ทต.นครชุมและพื้นที่ต่อเนื่อง	อบต.ทรงธรรม อบต.นครชุม อบต.ท่าขุนราม ทต.นครชุม
		ทต.คลองแม่ลายและพื้นที่ต่อเนื่อง	ทต.คลองแม่ลาย อบต.คลองแม่ลาย อบต.อ่างทอง
	คลองขลุง	ทต.ท่าพุทราและพื้นที่ต่อเนื่อง	อบต.ท่าพุทรา ทต.ท่าพุทรา อบต.คลองขลุง
		ทต.คลองขลุงและพื้นที่ต่อเนื่อง	อบต.คลองขลุง ทต.คลองขลุง อบต.แม่ลาด
		ทต.ท่ามะเขือและพื้นที่ต่อเนื่อง	อบต.ท่ามะเขือ ทต.ท่ามะเขือ ทต.วังยาง
รวมจังหวัดกำแพงเพชร	**2**	**6**	**19 เทศบาล/อบต.**

โครงการฯ ได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ทั้ง 5 กรณีศึกษา ซึ่งเป็นการจำลองพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 2 ปี 5 ปี 10 ปี 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี และนำผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมดังกล่าวไปซ้อนทับกับการใช้ประโยชน์ที่ดินปัจจุบัน (ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2563) จากนั้นนำผลที่ได้จากแบบจำลองฯ ไปประมวลร่วมกับข้อมูลต่างๆ เช่น ภาพถ่ายพื้นที่น้ำท่วมที่เคยเกิดขึ้นในอดีตโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) แผนที่ภูมิประเทศ ในรูปแบบ DEM มาตราส่วน 1:4,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน ฯลฯ จัดทำเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมตามกรณีศึกษาทั้ง 5 กรณีที่คาบอุบัติ 2 5 10 25 50 และ 100 ปี นำไปรับฟังความคิดเห็นของประชาชนในพื้นที่ศึกษา เพื่อพิจารณาคัดเลือกกรณีศึกษาและคาบอุบัติของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเพื่อนำไปกำหนดเป็นขอบเขตของผังน้ำที่จะจัดทำขึ้นต่อไป

การวิเคราะห์สมดุลน้ำและสภาพการขาดแคลนน้ำจะใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษาต่อไป ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์สมดุลน้ำระดับตำบลและระดับโครงข่ายลำน้ำหลัก ดังนี้

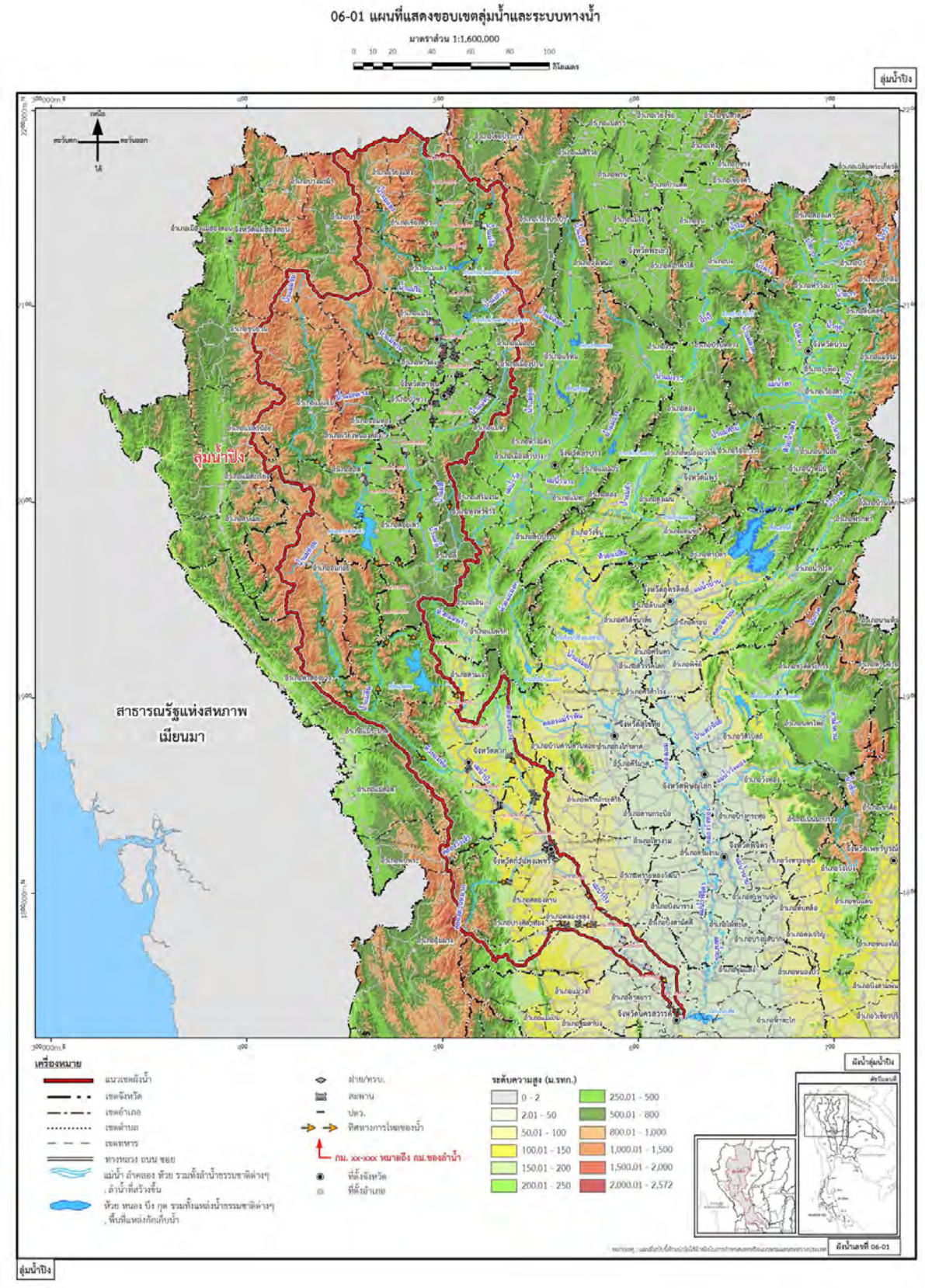
- การวิเคราะห์สมดุลน้ำระดับตำบล เป็นการวิเคราะห์สมดุลของน้ำในพื้นที่ระดับตำบล จากสภาพการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในช่วงฤดูแล้ง และปริมาณน้ำต้นทุนจากแหล่งเก็บกักน้ำขนาดเล็กและปริมาณน้ำบาดาล ทำให้ทราบสภาพการใช้น้ำช่วงฤดูแล้งในพื้นที่เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดทำแผนที่ผังน้ำ
- การวิเคราะห์สมดุลน้ำระดับโครงข่ายลำน้ำหลัก เป็นการวิเคราะห์สมดุลของน้ำในลุ่มน้ำจากสภาพการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในปัจจุบัน และในอนาคตเมื่อมีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ โดยจำลองทั้งสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบันและการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยแบ่งกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ดังนี้
  - กรณีที่ 1 สภาพปัจจุบัน
  - กรณีที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดินสภาพปัจจุบัน + แผนของหน่วยงานในระยะ 5 ปี (ภายในปี 2569)
  - กรณีที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต+ แผนของหน่วยงานในระยะ 5 ปี (ภายในปี 2569)

ในส่วนของผลการจัดทำร่างผังน้ำในรูปแบบแผนที่ ประกอบด้วยส่วนที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา จำนวน 3 แผ่น และส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน (ไม่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา) จำนวน 12 แผ่น ได้แก่

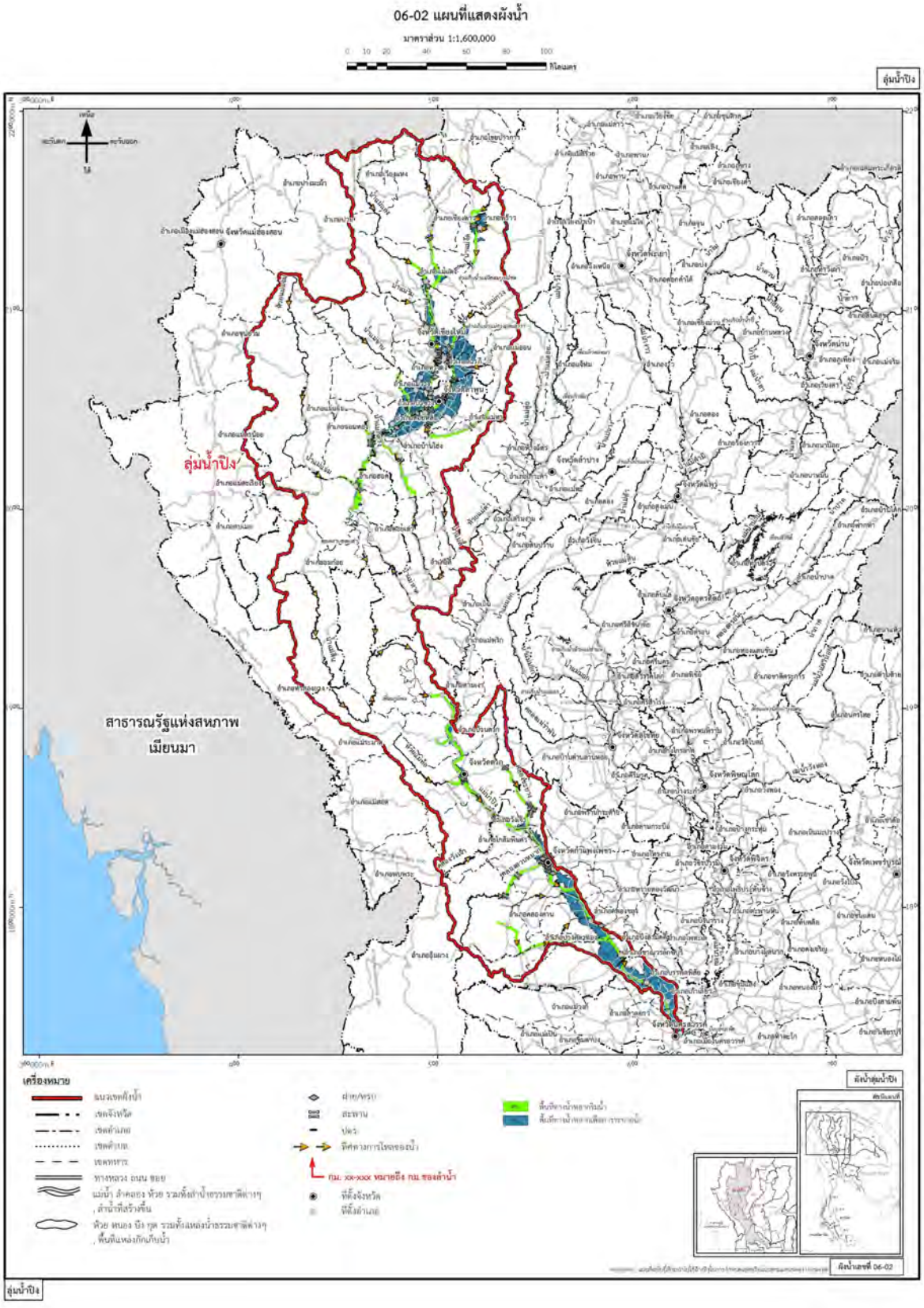
- **ส่วนที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา** ดังแสดงร่างผังน้ำลุ่มน้ำปิงใน**รูปที่ 2.3-2** ถึง**รูปที่ 2.3-4**
  - แผ่นที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตลุ่มน้ำและระบบทางน้ำ
  - แผ่นที่ 2 แผนผังแสดงผังน้ำ
  - แผ่นที่ 3 แผนที่แสดงพื้นที่ป่า และพื้นที่ชุ่มน้ำ
- **ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน (ไม่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา)** ดังแสดงร่างผังน้ำในรูปแบบแผนที่ดัง**รูปที่ 2.3-5**
  - แผ่นที่ 4 แผนที่แสดงความจุลำน้ำ และพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม
  - แผ่นที่ 5 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 2 ปี
  - แผ่นที่ 6 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 5 ปี
  - แผ่นที่ 7 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 10 ปี
  - แผ่นที่ 8 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 25 ปี
  - แผ่นที่ 9 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 50 ปี
  - แผ่นที่ 10 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 100 ปี

- แผ่นที่ 12 แผนที่แสดงข้อมูลพื้นที่เสี่ยงขาดแคลนน้ำอุปโภค-บริโภคและอุตสาหกรรมช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)
- แผ่นที่ 13 แผนที่แสดงข้อมูลพื้นที่เสี่ยงขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรนอกเขตชลประทานช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)
- แผ่นที่ 15 แผนที่แสดงข้อมูลคุณภาพน้ำ

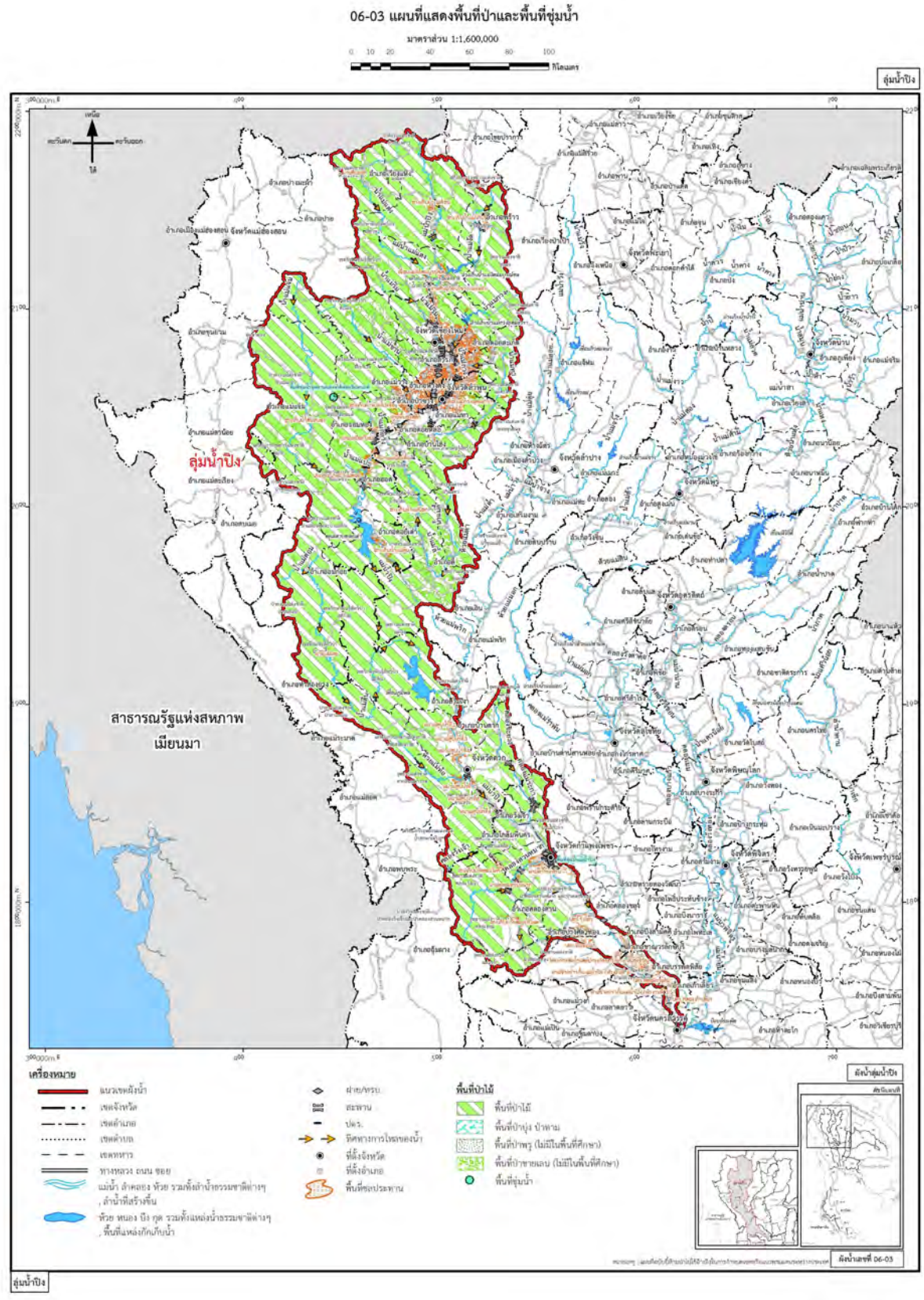
- **ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน (ไม่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา)** ดังแสดงร่างผังน้ำในรูปแบบแผนผัง (ไดอะแกรม) ดัง**รูปที่ 2.3-6**
  - แผ่นที่ 11 ผังระบบระบายน้ำ
  - แผ่นที่ 14 ผังข้อมูลการบริหารจัดการน้ำช่วงน้ำแล้ง



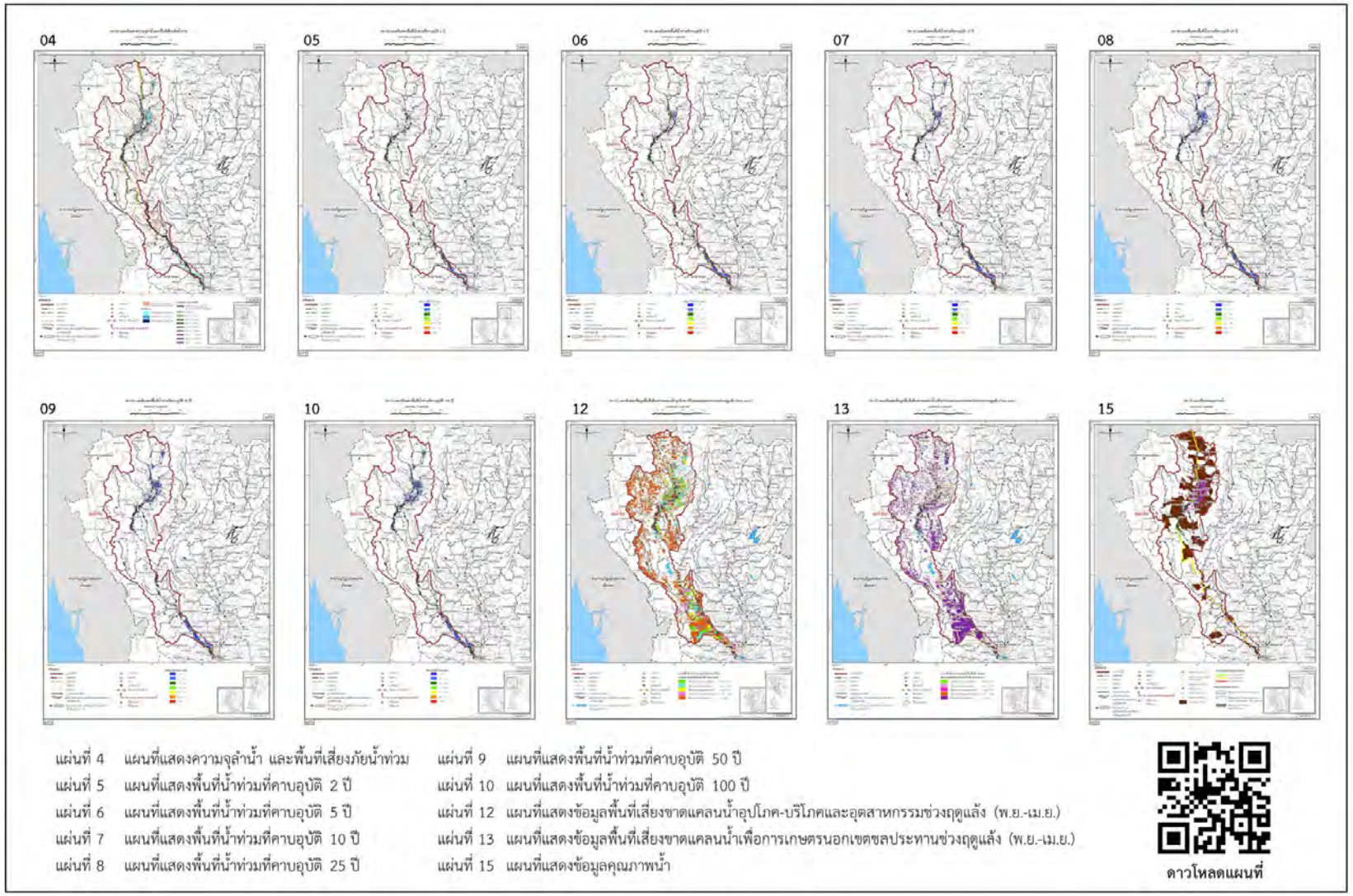
รูปที่ 2.3-2 (ร่าง) แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำและระบบทางน้ำ



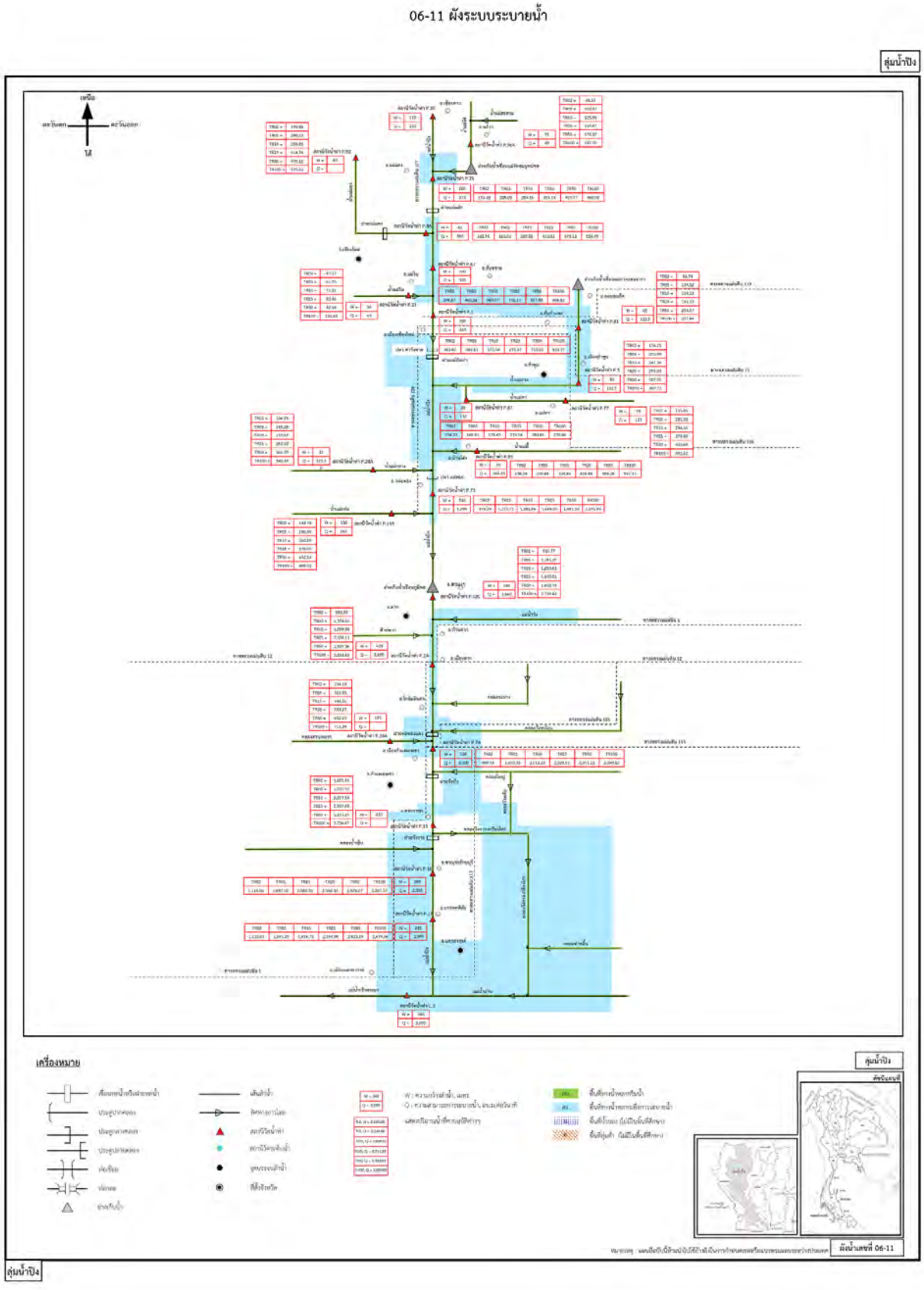
รูปที่ 2.3-3 (ร่าง) แผนผังแสดงผังน้ำ



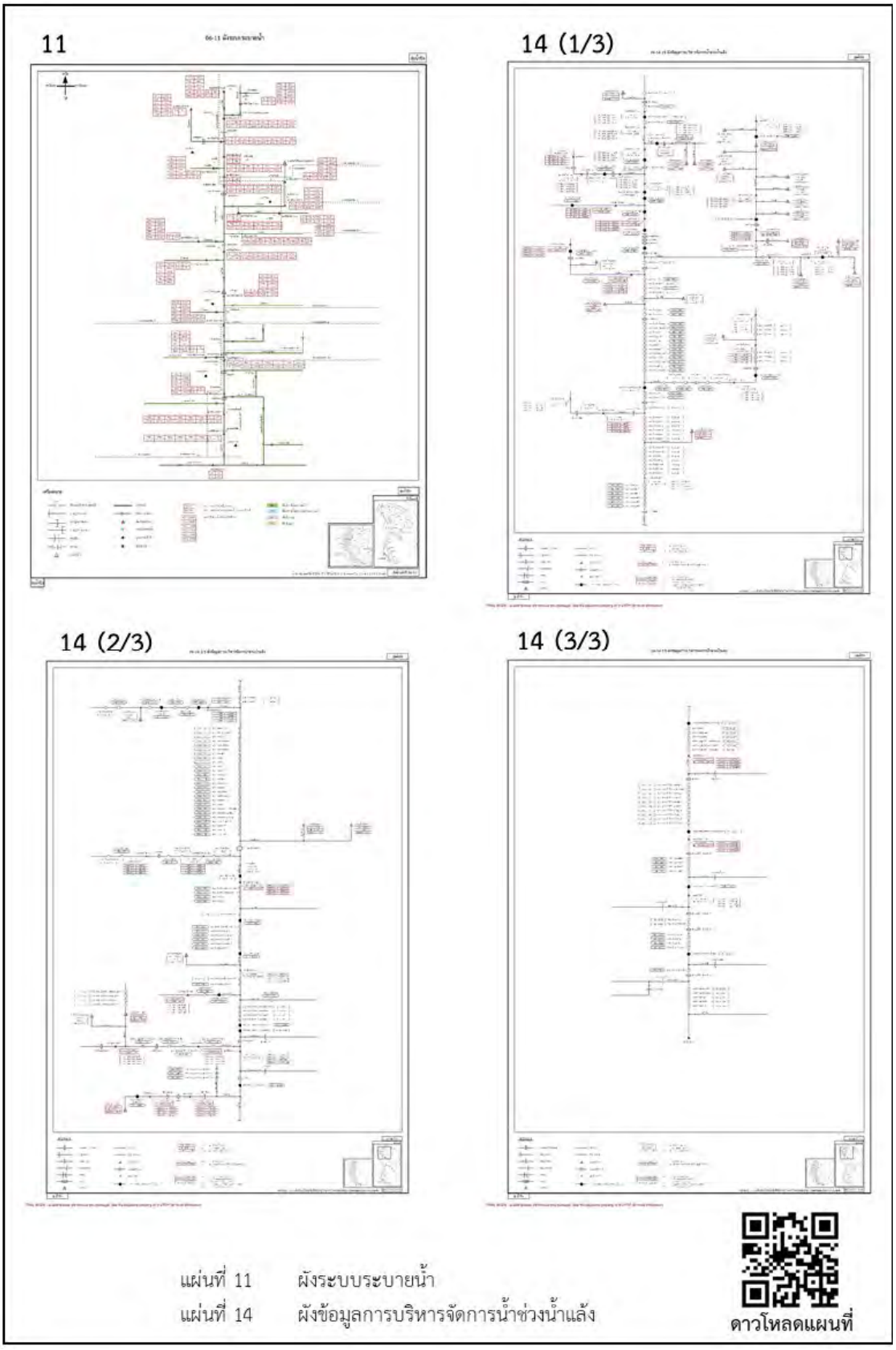
รูปที่ 2.3-4 (ร่าง) แผนที่พื้นที่ป่าและพื้นที่ชุ่มน้ำ



รูปที่ 2.3-5 (ร่าง) ผังน้ำในรูปแบบแผนที่ (ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน)



รูปที่ 2.3-6 (ร่าง) ผังน้ำในรูปแบบแผนผัง (ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน)



รูปที่ 2.3-6 (ต่อ) (ร่าง) ผังน้ำในรูปแบบแผนผัง (ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน)

2) ลุ่มน้ำยม

โครงการฯ ได้ทำการรวบรวมสถานการณ์อุทกภัยของพื้นที่ลุ่มน้ำในช่วงปี 2538 – 2564 และสามารถสรุปสาเหตุและลักษณะการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำบริเวณลุ่มน้ำยมตอนบน (จังหวัดแพร่ และพะเยา) พบว่า ในช่วงฤดูฝนของแต่ละปีจะมีพายุพัดผ่านพื้นที่ ก่อให้เกิดฝนตกหนัก น้ำในลำน้ำยมมีปริมาณมากขึ้นเนื่องจากบริเวณต้นน้ำไม่มีที่กักเก็บน้ำ พื้นที่ที่อยู่บริเวณเชิงเขาจะเกิดน้ำท่วมในลักษณะน้ำป่าไหลหลาก ส่วนในพื้นที่ราบลุ่มริมน้ำเมื่อมีปริมาณน้ำสะสมในลำน้ำมากจนไหลล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่จะเป็นลักษณะของน้ำท่วมขังและเกิดเป็นระยะเวลานาน บริเวณลุ่มน้ำยมตอนกลาง (จังหวัดสุโขทัย) พบว่า ขนาดของลำน้ำยมที่ไหลผ่านจากจังหวัดแพร่ลงมาสู่เขตอำเภอศรีสัชนาลัยจะมีขนาดใหญ่ มีความจุของลำน้ำประมาณ 2,000 ลบ.ม./วินาที และค่อยๆ มีขนาดเล็กลง ดังนั้นถ้าปริมาณน้ำในแม่น้ำไหลเข้าสู่จังหวัดสุโขทัยเกินความจุของลำน้ำแต่ละช่วงแล้วจะทำให้น้ำล้นตลิ่งแม่น้ำยม จากสถิติปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำยมจะมีน้ำล้นตลิ่งทุกปี โดยเฉพาะพื้นที่อำเภอสวรรคโลก ศรีสำโรง เมืองสุโขทัย และกงไกรลาศ บริเวณลุ่มน้ำยมตอนล่าง (จังหวัดพิษณุโลก พิจิตร และนครสวรรค์) พบว่า เป็นพื้นที่รองรับน้ำที่ไหลผ่านมาจากจังหวัดภาคเหนือตอนบน โดยระยะเวลาห่างกันพอสมควรตามการไหลบ่าของน้ำในแม่น้ำยม

ทางโครงการฯ ได้จัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อจำลองสภาพพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมของพื้นที่โครงการ โดยแบ่งกรณีศึกษาต่างๆ ออกเป็น 5 กรณี ตามองค์ประกอบของโครงข่ายทางน้ำเพื่อการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและรูปแบบการใช้ที่ดิน รายละเอียดเป็นดังนี้

- **กรณีที่ 1** กำหนดขอบเขตผังน้ำจากสภาพพื้นที่และระบบสาธารณูปโภค (โครงข่ายถนน และช่องเปิดต่าง ๆ) ในสภาพปัจจุบัน
- **กรณีที่ 2** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการปรับปรุงโครงข่ายถนนและช่องเปิดต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ผังน้ำไม่ให้เกิดการกีดขวางทางน้ำ
- **กรณีที่ 3** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการพัฒนาโครงการที่อยู่ในแผนของหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีความชัดเจนในการดำเนินการ
- **กรณีที่ 4** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการปรับปรุงโครงข่ายถนนและช่องเปิดต่าง ๆ ในพื้นที่ผังน้ำร่วมกับการพัฒนาโครงการที่อยู่ในแผนของหน่วยงานต่าง ๆ และการเสนอเพิ่มเติมโดยที่ปรึกษาของโครงการฯ
- **กรณีที่ 5** กำหนดขอบเขตผังน้ำโดยมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ การพัฒนาเมืองหรือพื้นที่เศรษฐกิจที่สำคัญในลุ่มน้ำที่อาจจะส่งผลกระทบในพื้นที่ผังน้ำร่วมกับการพัฒนาโครงการที่อยู่ในแผนของหน่วยงานต่าง ๆ และการเสนอเพิ่มเติมโดยที่ปรึกษาของโครงการฯ

ซึ่งที่ปรึกษาของโครงการฯ ได้เสนอเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายน้ำของลำน้ำสายสำคัญ โดยขุดลอกบริเวณท้องน้ำที่ตื้นเขินเป็นระยะทาง 191.29 กิโลเมตร และเสนอให้สร้าง/จัดทำพื้นที่ปิดล้อมเพื่อป้องกันน้ำท่วมที่คาบอุบัติ 100 ปี บริเวณพื้นที่ชุมชนและเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำ 27 พื้นที่ โดยในส่วนของพื้นที่จังหวัดสุโขทัย มีพื้นที่ชุมชนและเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดที่เสนอจัดทำระบบพื้นที่ปิดล้อม จำนวน 5 อำเภอ ดัง **ตารางที่ 2.3-2**

ตารางที่ 2.3-2 พื้นที่ชุมชนและเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดในพื้นที่ลุ่มน้ำที่เสนอจัดทำระบบพื้นที่ปิดล้อม

จังหวัด	อำเภอ	พื้นที่ดำเนินการจัดทำแผนหลักฯ	พื้นที่รับประโยชน์
สุโขทัย	เมืองสุโขทัย	ทม.สุโขทัยธานีและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งซ้ายแม่น้ำยม	อบต.ปากแคว ทม.สุโขทัยธานี ทต.บ้านสวน อบต.บ้านสวน อบต.บ้านหลุม อบต.ตาลเตี้ย
		ทม.สุโขทัยธานีและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งขวาแม่น้ำยม	อบต.ปากแคว ทต.บ้านกล้วย อบต.ยางซ้าย ทม.สุโขทัยธานี
		ทต.เมืองเก่าและพื้นที่ต่อเนื่อง	อบต.เมืองเก่า ทต.เมืองเก่า
	สวรรคโลก	ทม.สวรรคโลกและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งซ้ายแม่น้ำยม	ทต.ป่ากุมเกาะ ทต.ในเมือง ทม.สวรรคโลก อบต.ย่านยาว
		ทม.สวรรคโลกและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งขวาแม่น้ำยม	ทต.ป่ากุมเกาะ อบต.วังไม้ขอน อบต.ย่านยาว
	ศรีสัชนาลัย	ทต.หาดเสี้ยวและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งซ้ายแม่น้ำยม	อบต.ป่างิ้ว ทต.หาดเสี้ยว อบต.หนองอ้อ
		ทม.ศรีสัชนาลัยและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งซ้ายแม่น้ำยม	ทม.ศรีสัชนาลัย
		ทม.ศรีสัชนาลัยและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งขวาแม่น้ำยม	ทม.ศรีสัชนาลัย
		ทต.หาดเสี้ยวและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งขวาแม่น้ำยม	อบต.ป่างิ้ว ทต.หาดเสี้ยว อบต.หนองอ้อ
	กงไกรลาศ	ทต.กงไกรลาศและพื้นที่ต่อเนื่อง	อบต.ไกรใน อบต.ไกรกลาง อบต.ไกรนอก อบต.กง อบต.ดงเดือย ทต.กงไกรลาศ อบต.ป่าแฝก
	ศรีสำโรง	ทต.ศรีสำโรงและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งซ้ายแม่น้ำยม	อบต.สามเรือน อบต.วังลึก ทต.ศรีสำโรง อบต.เกาะตาเลี้ยง อบต.วังทอง
		อบต.บ้านนาและพื้นที่ต่อเนื่องฝั่งขวาแม่น้ำยม	อบต.วังทอง อบต.บ้านนา อบต.วัดเกาะ
รวมจังหวัดสุโขทัย	**5**	**12**	**36 เทศบาล/อบต.**

โครงการฯ ได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ทั้ง 5 กรณีศึกษา ซึ่งเป็นการจำลองพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 2 ปี 5 ปี 10 ปี 25 ปี 50 ปี และ 100 ปี และนำผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมดังกล่าวไปซ้อนทับกับการใช้ประโยชน์ที่ดินปัจจุบัน (ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2563) จากนั้นนำผลที่ได้จากแบบจำลองฯ ไปประมวลร่วมกับข้อมูลต่างๆ เช่น ภาพถ่ายพื้นที่น้ำท่วมที่เคยเกิดขึ้นในอดีตโดยสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) แผนที่ภูมิประเทศ ในรูปแบบ DEM มาตราส่วน 1:4,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน ฯลฯ จัดทำเป็นพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมตามกรณีศึกษาทั้ง 5 กรณีที่คาบอุบัติ 2, 5 10, 25, 50 และ 100 ปี นำไปรับฟังความคิดเห็นของประชาชนในพื้นที่ศึกษา เพื่อพิจารณาคัดเลือกกรณีศึกษาและคาบอุบัติของพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเพื่อนำไปกำหนดเป็นขอบเขตของผังน้ำที่จะจัดทำขึ้นต่อไป

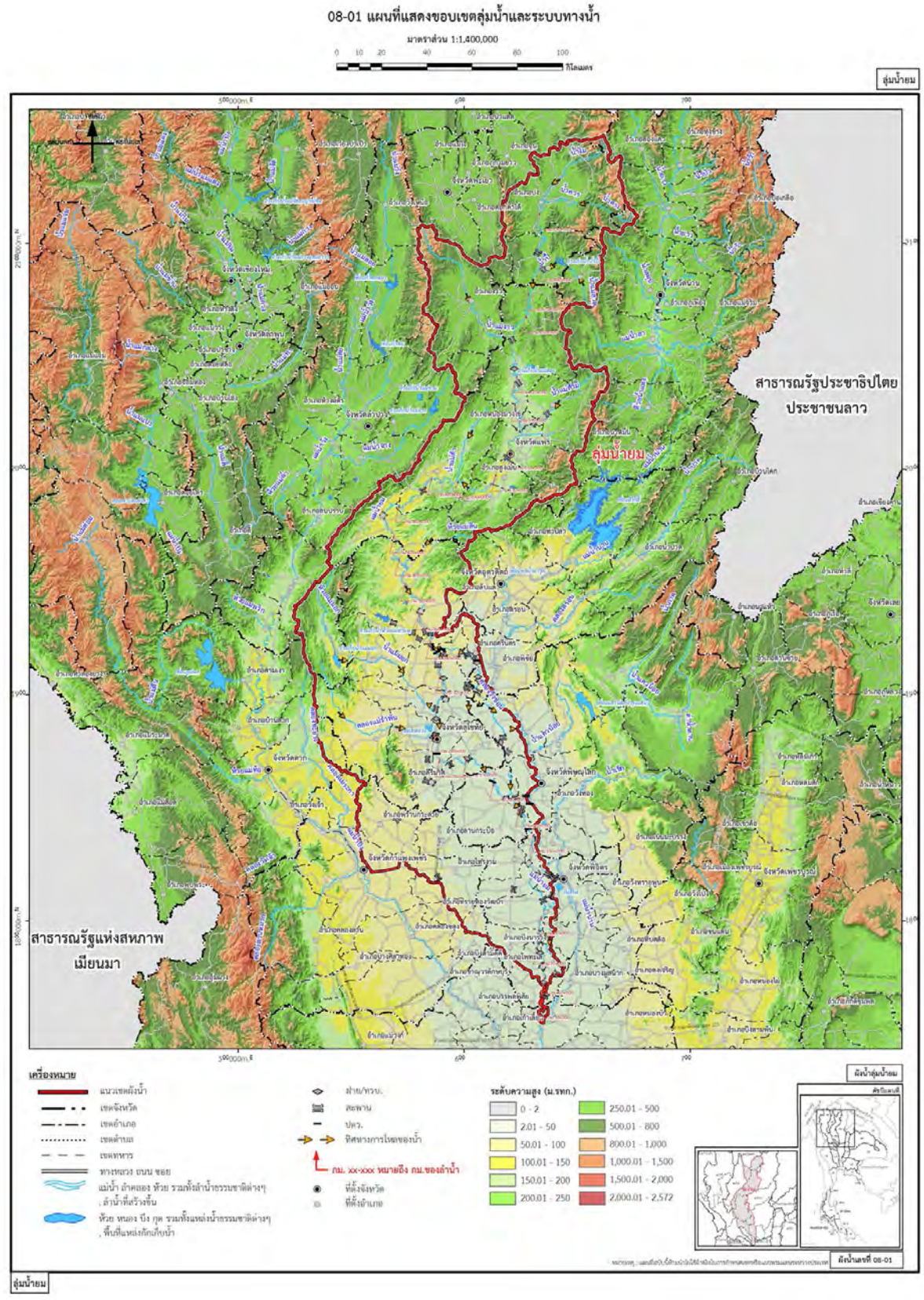
การวิเคราะห์สมดุลน้ำและสภาพการขาดแคลนน้ำจะใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษาต่อไป ซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์สมดุลน้ำระดับตำบลและระดับโครงข่ายลำน้ำหลัก ดังนี้

- การวิเคราะห์สมดุลน้ำระดับตำบล เป็นการวิเคราะห์สมดุลของน้ำในพื้นที่ระดับตำบล จากสภาพการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในช่วงฤดูแล้ง และปริมาณน้ำต้นทุนจากแหล่งเก็บกักน้ำขนาดเล็กและปริมาณน้ำบาดาล ทำให้ทราบสภาพการใช้น้ำช่วงฤดูแล้งในพื้นที่เพื่อเป็นข้อมูลในการจัดทำแผนที่ผังน้ำ
- การวิเคราะห์สมดุลน้ำระดับโครงข่ายลำน้ำหลัก เป็นการวิเคราะห์สมดุลของน้ำในลุ่มน้ำจากสภาพการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ในปัจจุบัน และในอนาคตเมื่อมีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ โดยจำลองทั้งสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบันและการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยแบ่งกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ดังนี้
  - กรณีที่ 1 สภาพปัจจุบัน
  - กรณีที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดินสภาพปัจจุบัน + แผนของหน่วยงานในระยะ 5 ปี (ภายในปี 2569)
  - กรณีที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต + แผนของหน่วยงานในระยะ 5 ปี (ภายในปี 2569)

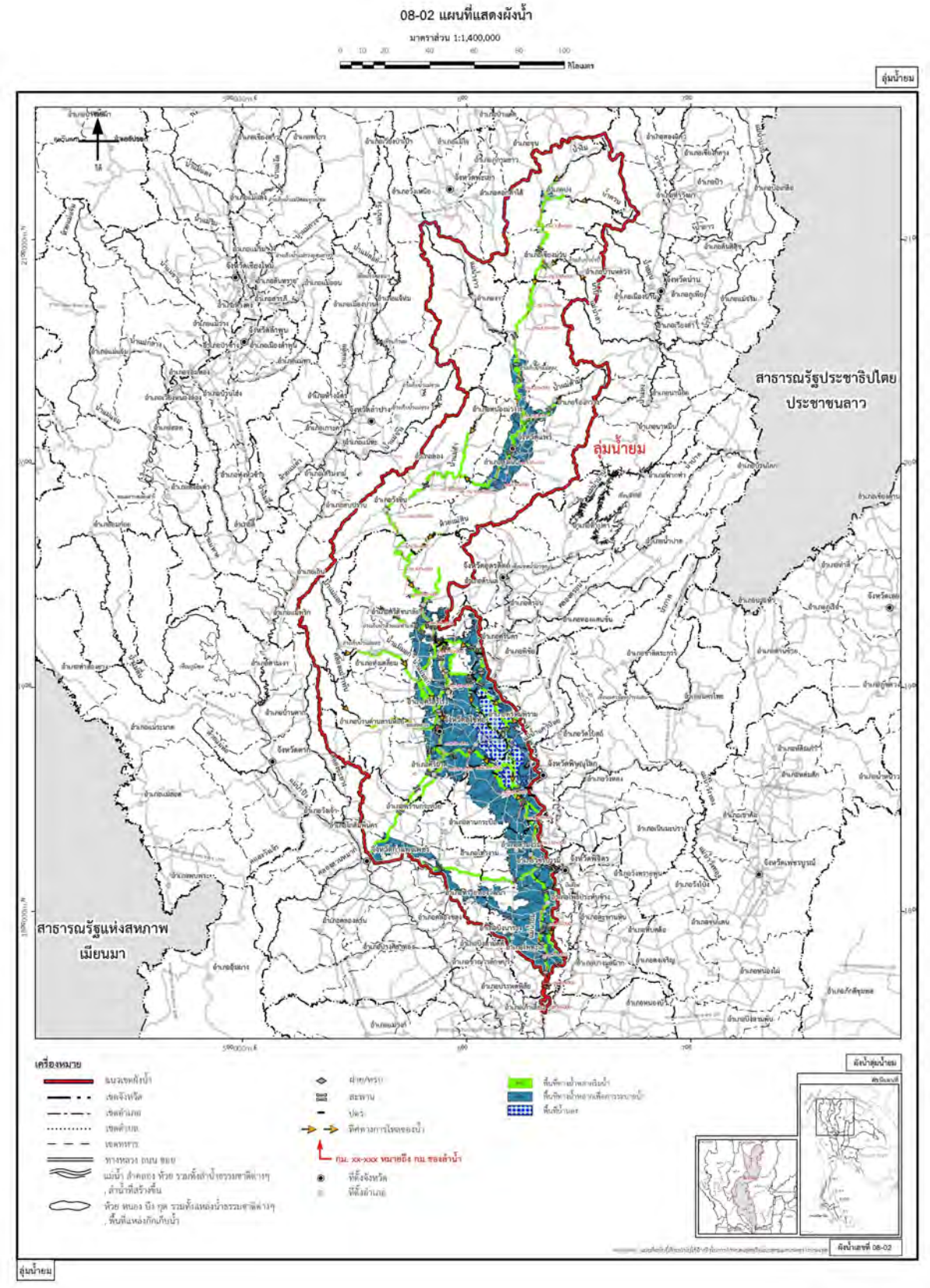
ในส่วนของผลการจัดทำร่างผังน้ำในรูปแบบแผนที่ ประกอบด้วยส่วนที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา จำนวน 3 แผ่น และส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน (ไม่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา) จำนวน 12 แผ่น ได้แก่

- **ส่วนที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา** ดังแสดงร่างผังน้ำลุ่มน้ำปิงใน**รูปที่ 2.3-7** ถึง**รูปที่ 2.3-9**
  - แผ่นที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตลุ่มน้ำและระบบทางน้ำ
  - แผ่นที่ 2 แผนผังแสดงผังน้ำ
  - แผ่นที่ 3 แผนที่แสดงพื้นที่ป่า และพื้นที่ชุ่มน้ำ

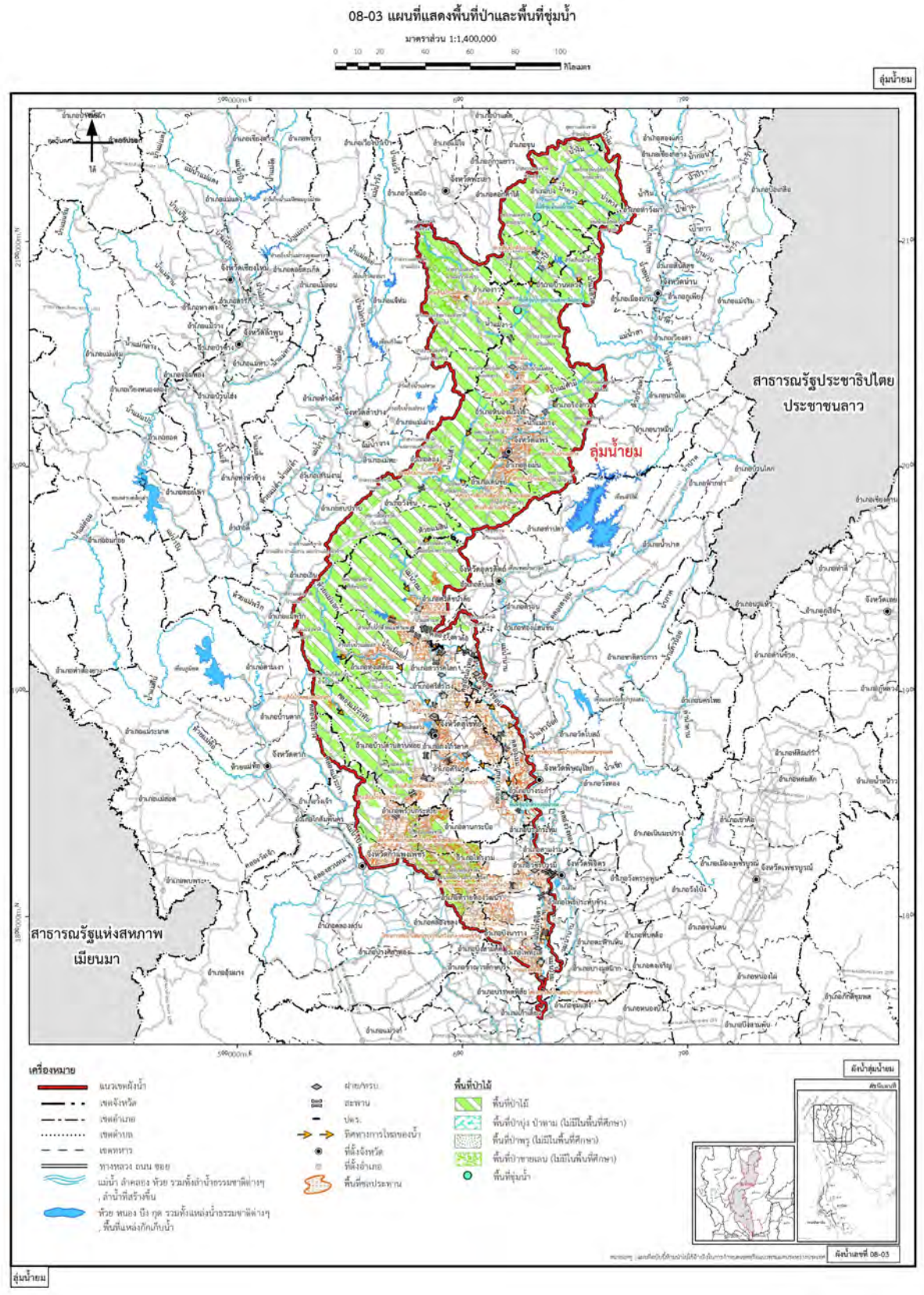
- **ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน (ไม่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา)** ดังแสดงร่างผังน้ำในรูปแบบแผนที่ดัง**รูปที่ 2.3-10**
  - แผ่นที่ 4 แผนที่แสดงความจุลำน้ำ และพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม
  - แผ่นที่ 5 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 2 ปี
  - แผ่นที่ 6 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 5 ปี
  - แผ่นที่ 7 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 10 ปี
  - แผ่นที่ 8 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 25 ปี
  - แผ่นที่ 9 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 50 ปี
  - แผ่นที่ 10 แผนที่แสดงพื้นที่น้ำท่วมที่คาบอุบัติ 100 ปี
  - แผ่นที่ 12 แผนที่แสดงข้อมูลพื้นที่เสี่ยงขาดแคลนน้ำอุปโภค-บริโภคและอุตสาหกรรมช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)
  - แผ่นที่ 13 แผนที่แสดงข้อมูลพื้นที่เสี่ยงขาดแคลนน้ำเพื่อการเกษตรนอกเขตชลประทานช่วงฤดูแล้ง (พ.ย.-เม.ย.)
  - แผ่นที่ 15 แผนที่แสดงข้อมูลคุณภาพน้ำ
- **ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน (ไม่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา)** ดังแสดงร่างผังน้ำในรูปแบบแผนผัง (ไดอะแกรม) ดัง**รูปที่ 2.3-11**
  - แผ่นที่ 11 ผังระบบระบายน้ำ
  - แผ่นที่ 14 ผังข้อมูลการบริหารจัดการน้ำช่วงน้ำแล้ง



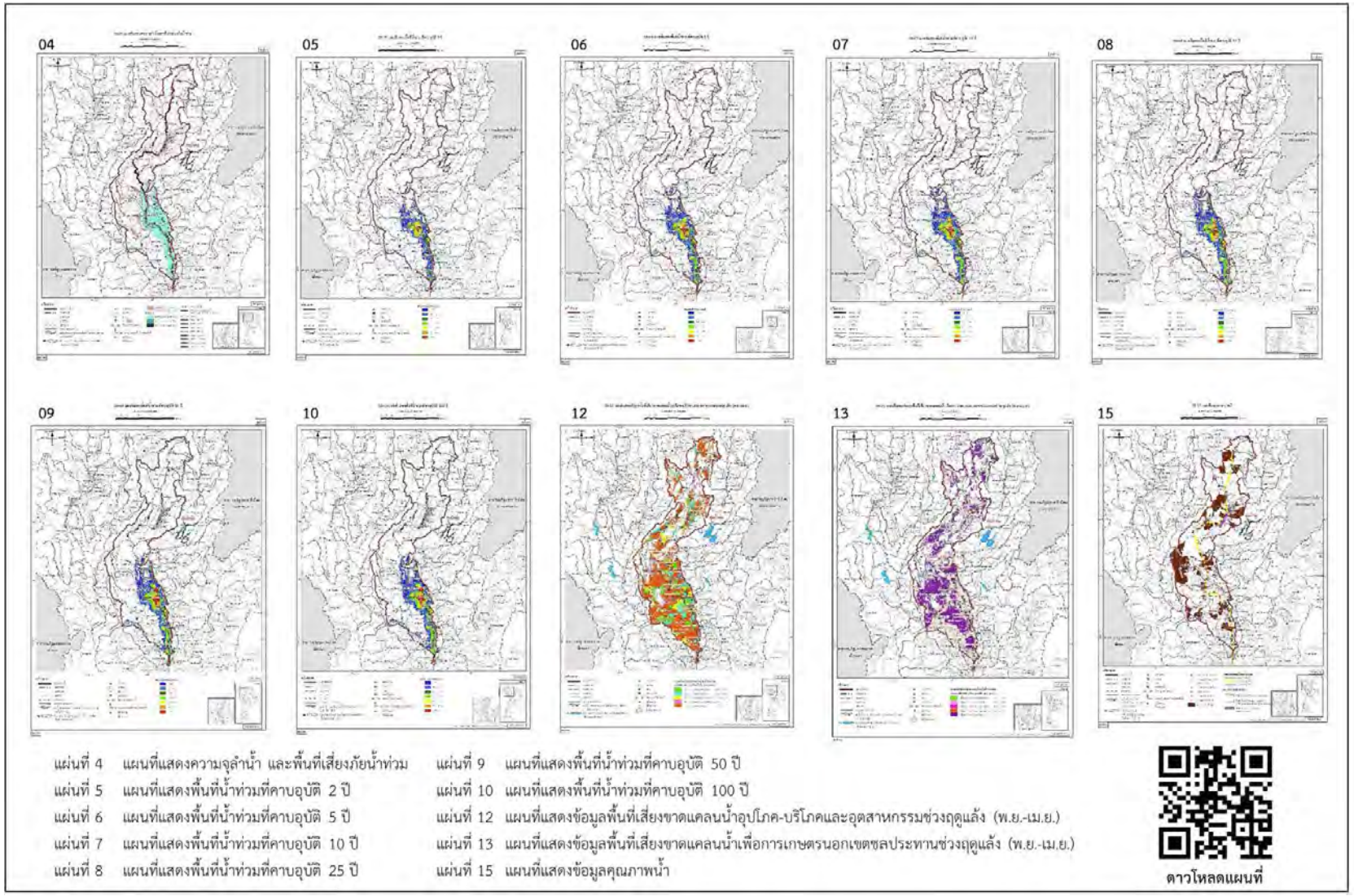
รูปที่ 2.3-7 (ร่าง) แผนที่ขอบเขตลุ่มน้ำและระบบทางน้ำ



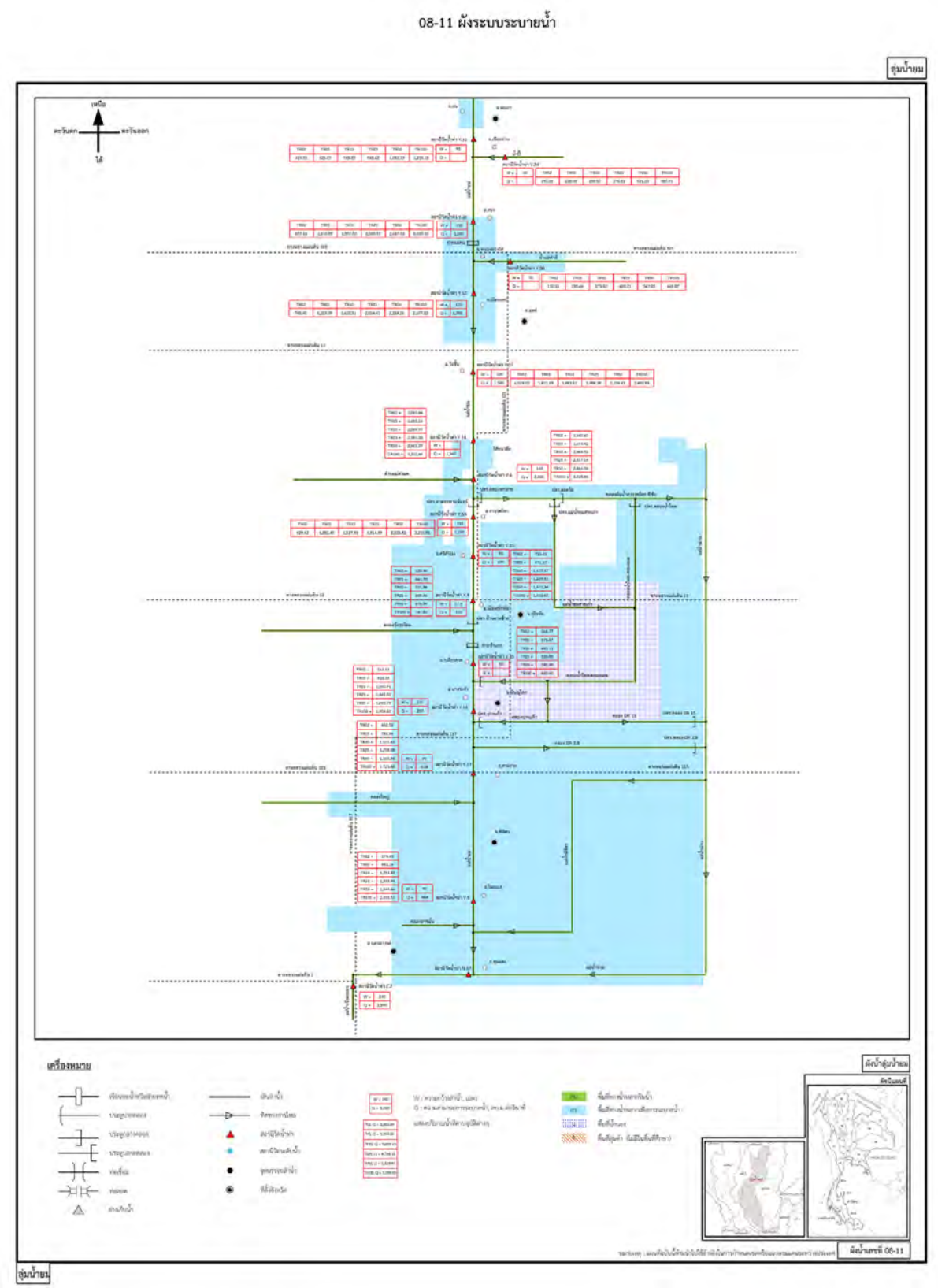
รูปที่ 2.3-8 (ร่าง) แผนผังแสดงผังน้ำ



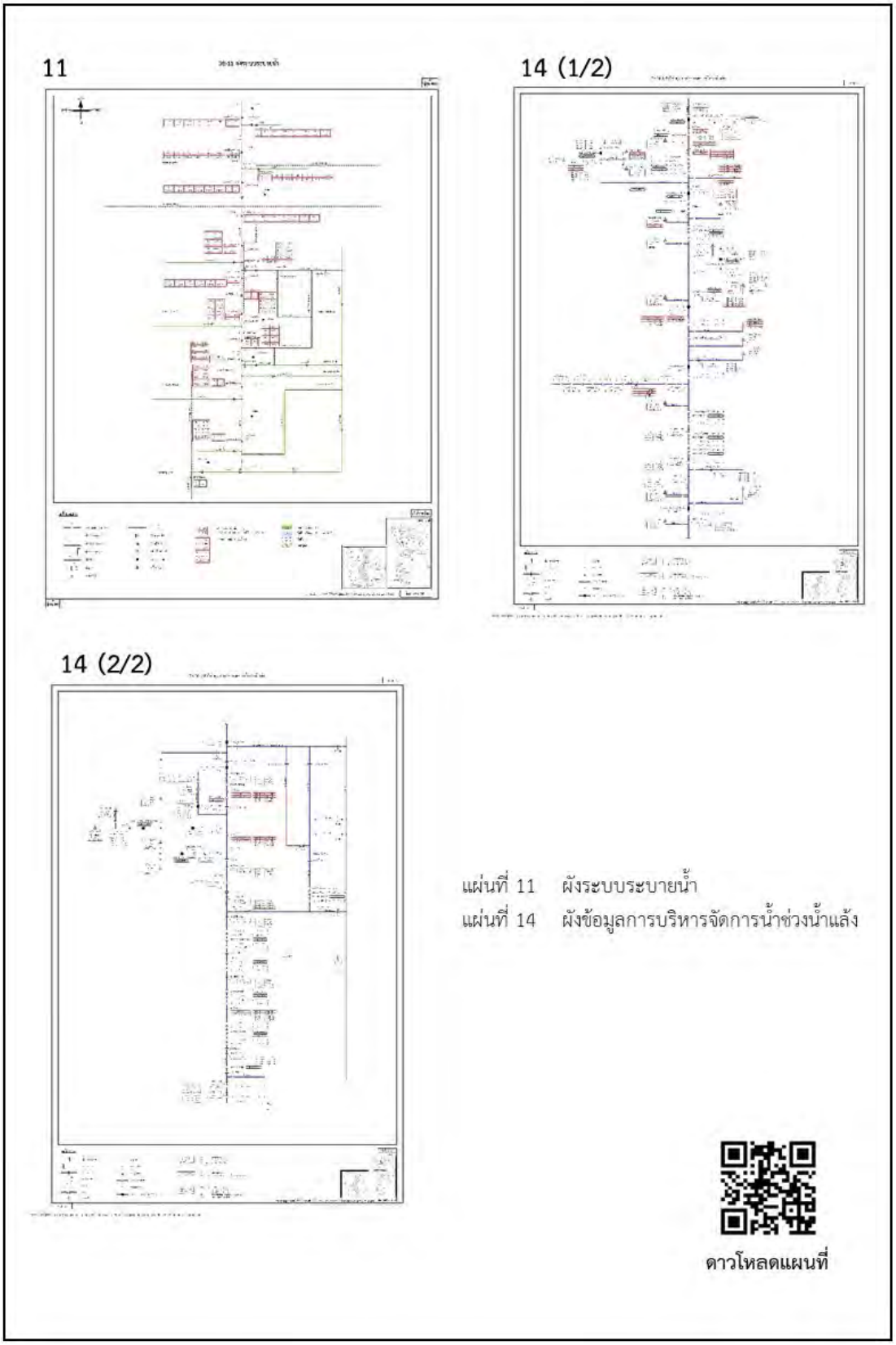
รูปที่ 2.3-9 (ร่าง) แผนที่พื้นที่ป่าและพื้นที่ชุ่มน้ำ



รูปที่ 2.3-10 (ร่าง) ผังน้ำในรูปแบบแผนที่ (ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน)



รูปที่ 2.3-11 (ร่าง) ผังน้ำในรูปแบบแผนผัง (ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน)



รูปที่ 2.3-11 (ต่อ) (ร่าง) ผังน้ำในรูปแบบแผนผัง (ส่วนที่เป็นข้อมูลสนับสนุน)

2.3.2. กรมชลประทาน

2.3.2.1. รายงานแผนแม่บท การพัฒนาลุ่มน้ำระดับจังหวัด จังหวัดกำแพงเพชร

จากการรวบรวมข้อมูลรายงานแผนแม่บท การพัฒนาลุ่มน้ำระดับจังหวัด จังหวัดกำแพงเพชร จากสำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2563 พบว่า จังหวัดกำแพงเพชร มีพื้นที่ 5,323,803 ไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 3,612,472 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 68 ของพื้นที่จังหวัด โดยในพื้นที่เกษตรกรรมดังกล่าวมีการพัฒนาเป็นพื้นที่ชลประทานแล้ว 1,974,898 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 55 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด

โครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีศักยภาพตามแผนการพัฒนาการชลประทานระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561 – พ.ศ. 2580) แบ่งแผนดำเนินการก่อสร้างออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

- โครงการตามแผนระยะสั้น เป็นโครงการที่มีแผนดำเนินการแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2561 - พ.ศ. 2565
- โครงการตามแผนระยะกลาง เป็นโครงการที่มีแผนดำเนินการแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2566 - พ.ศ. 2570
- โครงการตามแผนระยะยาว เป็นโครงการที่มีแผนดำเนินการแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2571 - พ.ศ. 2580

จังหวัดกำแพงเพชร มีโครงการที่อยู่ในแผนดำเนินการ จำนวน 66 โครงการ เป็นโครงการขนาดกลาง 13 โครงการ และขนาดเล็ก 53 โครงการ หากดำเนินการแล้วเสร็จตามแผนทั้งหมดจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 371.29 ล้านลูกบาศก์เมตร และจะมีพื้นที่ชลประทานเพิ่มขึ้น 180,929 ไร่ รวมเป็น 2,155,827 ไร่ ใช้วงเงินรวม 5,851 ล้านบาท ดัง**ตารางที่ 2.3-3** ถึง**ตารางที่ 2.3-5** และ**รูปที่ 2.3-12** โดยสามารถสรุปตามระยะดำเนินการได้ดังนี้

1) โครงการตามแผนระยะสั้น (พ.ศ. 2561 – พ.ศ. 2565)

มีโครงการที่ดำเนินการตามแผนระยะสั้น 40 โครงการ เป็นโครงการขนาดกลาง 7 โครงการและขนาดเล็ก 33 โครงการ หากก่อสร้างแล้วเสร็จจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 57 ล้านลูกบาศก์เมตร และเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 87,935 ไร่ ใช้เงินงบประมาณสำหรับโครงการในแผนระยะสั้น 2,220 ล้านบาท

2) โครงการตามแผนระยะกลาง (พ.ศ. 2566 – พ.ศ. 2570)

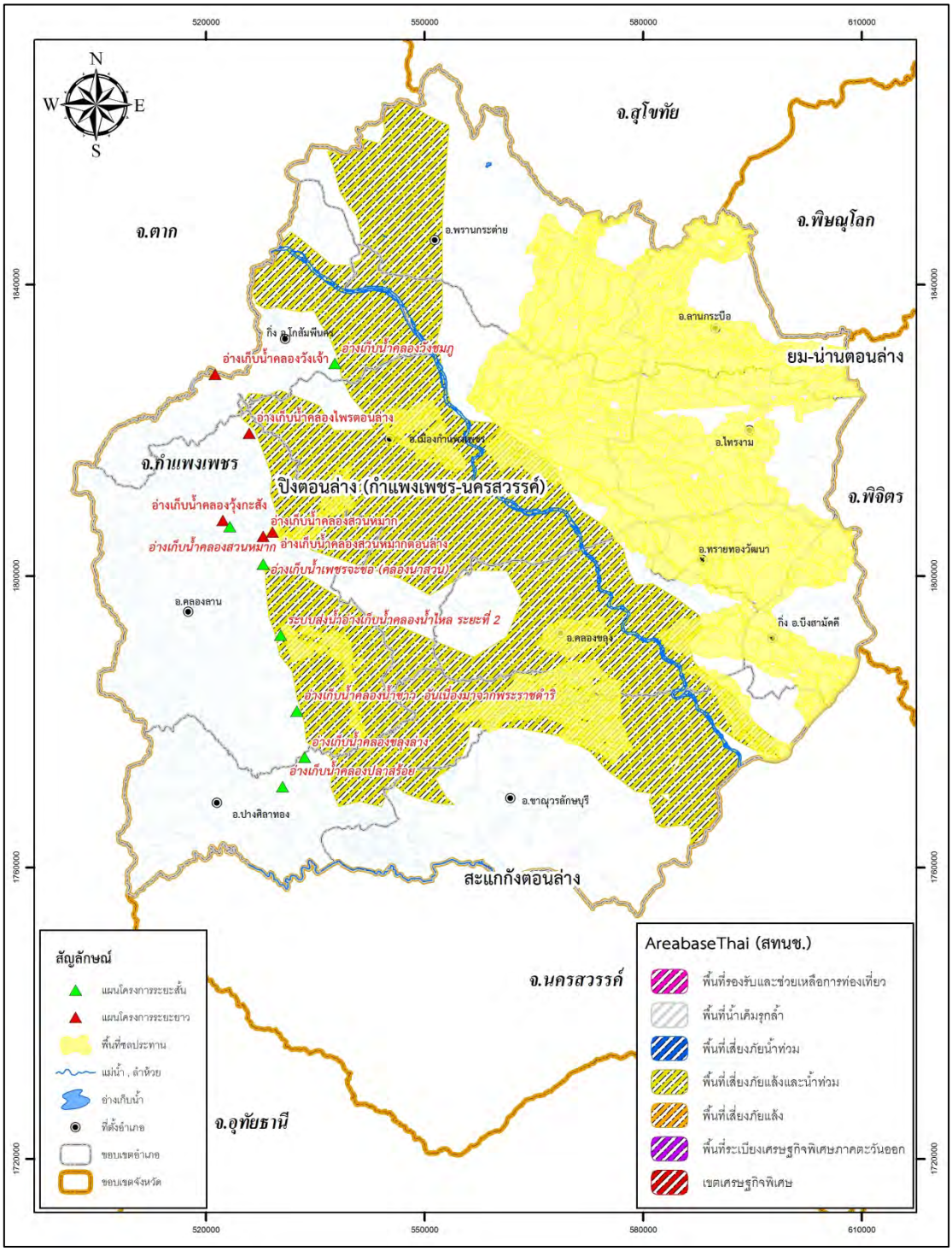
มีโครงการที่ดำเนินการตามแผนระยะกลาง 21 โครงการ เป็นโครงการขนาดกลาง 1 โครงการ และขนาดเล็ก 20 โครงการ หากก่อสร้างแล้วเสร็จจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 8 ล้านลูกบาศก์เมตร ใช้เงินงบประมาณสำหรับโครงการในแผนระยะกลาง 407 ล้านบาท

3) โครงการตามแผนระยะยาว (พ.ศ. 2571 – พ.ศ. 2580)

มีโครงการที่ดำเนินการตามแผนระยะยาว 5 โครงการ เป็นโครงการขนาดกลาง 5 โครงการ หากก่อสร้างแล้วเสร็จจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 307 ล้านลูกบาศก์เมตร และเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 92,994 ไร่ ใช้เงินงบประมาณสำหรับโครงการในแผนระยะยาว 3,224 ล้านบาท

ตารางที่ 2.3-3 สรุปแผนการพัฒนาชลประทานระยะ 20 ปี จังหวัดกำแพงเพชร จำแนกตามขนาดและระยะดำเนินการ

ขนาดโครงการ	แผนการพัฒนาชลประทาน ระยะ 20 ปี			
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2571-2580)	รวม 20 ปี (2561-2580)
1. ขนาดใหญ่				
- จำนวน (โครงการ)	-	-	-	-
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	-	-	-	-
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	-	-	-	-
- วงเงิน (ล้านบาท)	-	-	-	-
2. ขนาดกลาง				
- จำนวน (โครงการ)	7	1	5	13
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	46.84	6.50	307.10	360.44
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	76,316.00	-	92,993.60	169,309.60
- วงเงิน (ล้านบาท)	1,662.8000	30.0000	3,224.0000	4,916.8000
3. ขนาดเล็ก				
- จำนวน (โครงการ)	33	20	-	53
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	9.81	1.04	-	10.85
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	11,619.00	-	-	11,619.00
- วงเงิน (ล้านบาท)	556.9100	376.9500	-	933.8600
รวมทุกขนาด				
- จำนวน (โครงการ)	**40**	**21**	**5**	**66**
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	**56.65**	**7.54**	**307.10**	**371.29**
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	**87,935.00**	**-**	**92,993.60**	**180,928.60**
- วงเงิน (ล้านบาท)	**2,219.7100**	**406.9500**	**3,224.0000**	**5,850.6600**



รูปที่ 2.3-12 แผนงานโครงการขนาดกลาง ระยะ 20 ปี จังหวัดกำแพงเพชร

ตารางที่ 2.3-4 แผนงานโครงการขนาดกลาง ระยะ 20 ปี จังหวัดกำแพงเพชร

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีแล้วเสร็จ	วงเงิน (ล้านบาท)
1	ระบบส่งน้ำอ่างเก็บน้ำคลองน้ำไหล	คลองน้ำ	คลองลาน	25,000	-	2561	2563	200.0000
2	อ่างเก็บน้ำคลองปลาสร้อย	ปางตาไว	ปางศิลา	7,350	9.00	2563	2565	365.0000
3	อ่างเก็บน้ำคลองสวนหมาก	โป่งน้ำร้อน	คลองลาน	3,000	3.70	2563	2565	170.0000
4	อ่างเก็บน้ำคลองวังชมภู	เพชรชมภู	โกสัมพีนคร	3,000	4.87	2563	2565	170.0000
5	อ่างเก็บน้ำคลองขลุงล่าง	คลองลาน	คลองลาน	32,203	21.29	2564	2565	438.0000
6	อ่างเก็บน้ำเพชรจะขอ (คลองนาสวน)	สักงาม	คลองลาน	4,263	5.18	2564	2565	187.8000
7	อ่างเก็บน้ำคลองน้ำขาว อัน	คลองลาน	คลองลาน	1,500	2.80	2564	2565	132.0000
8	อ่างเก็บน้ำคลองสวนหมากตอนล่าง	สักงาม	คลองลาน	1,045	134.69	2578	2578	107.0000
9	อ่างเก็บน้ำคลองสวนหมาก	โป่งน้ำร้อน	คลองลาน	50,624	94.92	2578	2578	1,627.0000
10	อ่างเก็บน้ำคลองไพรตอนล่าง	โป่งน้ำร้อน	คลองลาน	2,539	4.76	2578	2578	152.0000
11	อ่างเก็บน้ำคลองวุ้งกะสัง	โป่งน้ำร้อน	คลองลาน	5,391	10.11	2578	2578	240.0000
12	อ่างเก็บน้ำคลองวังเจ้า	-	คลองลาน	33,395	62.62	2578	2578	1,098.0000
13	โครงการเพิ่มศักยภาพความจุ อ่างเก็บน้ำคลองน้ำไหล	โป่งน้ำร้อน	คลองลาน	-	6.50	2566	2566	30.0000
	รวม			**169,310**	**360.44**			**4,916.8000**

ตารางที่ 2.3-5 แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดกำแพงเพชร

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีเสร็จ แล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
1	ฝายคลองดงพร้อมระบบส่งน้ำ	ดอนแตง	ขาณุวรลักษบุรี	-	0.19	2561	2561	28.4180
2	ก่อสร้างอาคารบังคับน้ำคลองปู่พระร่วง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่อทองแดง	ถ้ำกระต่ายทอง	พรานกระต่าย	-	-	2561	2561	8.0000
3	ฝายบ้านเพชรเจริญพร้อมระบบส่งน้ำ	ปางตาไว	ปางศิลาทอง	-	0.09	2561	2561	14.7370
4	ฝายบ้านมอฝ้ายพร้อมระบบส่งน้ำ	คลองแม่ลาย	เมือง	-	0.15	2563	2563	13.7500
5	ฝายคลองกระแชง	โกสัมพี	โกสัมพีนคร	-	0.23	2562	2562	20.0000
6	ฝายแชมมนโตนพร้อมระบบส่งน้ำ	โป่งน้ำร้อน	คลองลาน	-	0.14	2563	2563	25.0000
7	ฝายบ้านวังทองพร้อมระบบส่งน้ำ	วังทอง	เมือง	-	0.14	2564	2564	12.0000
8	ฝายบ้านปรางช่างยมพร้อมระบบส่งน้ำ	วังทอง	เมือง	-	0.10	2564	2564	13.0000
9	ฝายบ้านท่าพุทรา	โกสัมพี	โกสัมพีนคร	-	0.69	2564	2564	25.0000
10	ฝายคลองแม่ระกา(บ้านลานกระทิง)	วังควง	พรานกระต่าย	-	0.25	2565	2565	14.0000
11	ฝายบ้านใหม่นาบ่อคำ	นาบ่อคำ	เมือง	-	-	2565	2565	15.0000
12	ฝายคลองเต่าใต้	นาบ่อคำ	เมือง	-	-	2564	2564	25.0000
13	ฝายคลองปิ่นโต	คลองลาน	คลองน้ำไหล	-	-	2565	2565	12.0000
14	อาคารอัดน้ำบ้านแสนตอ	แสนตอ	ขาณุวรลักษบุรี	-	-	2565	2565	8.0000
15	ฝายบ้านรวงผึ้ง	คลองน้ำไหล	คลองลาน	-	-	2565	2565	12.0000
16	อาคารอัดน้ำกลางคลองห้วยท่ากระบาก พร้อมระบบส่งน้ำ	สักงาม	คลองลาน	500	-	2565	2565	10.0000
17	ทำนบดินพร้อมอาคารประกอบคลองขัว	นาบ่อคำ	เมือง	-	-	2565	2565	15.0000

ตารางที่ 2.3-5 (ต่อ) แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดกำแพงเพชร

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีเสร็จ แล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
18	ฝายมอตรากอย	โค้งไผ่	ขาณุวรลักษบุรี	-	-	2565	2565	12.0000
19	ระบบส่งน้ำด้วยท่อส่งน้ำจากน้ำตกคลองวังเจ้า หนองแดน	โกสัมพี	โกสัมพีนคร	-	-	2565	2565	15.0000
20	อาคารบังคับน้ำกลางคลองลำทวน (แห่งที่ 5)	ลานดอกไม้	เมือง	-	-	2565	2565	8.0000
21	อาคารอัดน้ำบ้านน้ำดิบมะพร้าว (แห่งที่ 3)	ท่าไม้	พรานกระต่าย	-	-	2565	2565	8.0000
22	อาคารบังคับน้ำคลองทุ่งสนุ่น	ระหาน	บึงสามัคคี	-	0.08	2566	2566	9.3000
23	ฝายคลองท่าส้ม	อ่างทอง	เมือง	-	-	2566	2566	35.0000
24	อ่างเก็บน้ำหนองสองห้อง	ห้วยยั้ง	พรานกระต่าย	-	0.03	2566	2566	25.0000
25	อ่างเก็บน้ำภูหีบ	ห้วยยั้ง	พรานกระต่าย	-	-	2566	2566	30.0000
26	อ่างเก็บน้ำห้วยขมิ้น	ท่าไม้ แดง	พรานกระต่าย	-	-	2566	2566	30.0000
27	ฝายแม่ระกาบ้านวังชะโอน	ท่าไม้แดง	พรานกระต่าย	-	0.18	2566	2566	18.0000
28	ฝายไร่อุดม	คลองน้ำไหล	คลองลาน	-	-	2566	2566	18.0000
29	อาคารบังคับน้ำคลองเรือ	ถาวรวัฒนา	ทรายทองวัฒนา	-	-	2566	2566	9.3000
30	อาคารอัดน้ำบ้านน้ำดิบมะพร้าว (แห่งที่ 2)	ท่าไม้	พรานกระต่าย	-	-	2567	2567	10.3500
31	ฝายคลองวังเจ้าบ้านเนินมะกอกน้อย	โกสัมพี	โกสัมพีนคร	-	-	2567	2567	12.0000
32	ฝายบ้านคลองใหญ่ใต้	คลองน้ำไหล	คลองลาน	-	-	2567	2567	12.0000
33	ฝายบ้านมอมะปรางทอง	คลองน้ำไหล	คลองลาน	-	0.18	2567	2567	12.0000
34	ฝายบ้านแม่สอด	คลองน้ำไหล	คลองลาน	-	0.23	2567	2567	12.0000
35	ฝายบ้านหนองปลาไหล	คลองน้ำไหล	คลองลาน	-	0.18	2567	2567	12.0000
36	อ่างเก็บน้ำห้วยโกรกปลาก้าง	ทรงธรรม	เมือง	-	0.18	2569	2569	35.0000

ตารางที่ 2.3-5 (ต่อ) แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดกำแพงเพชร

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปีก่อสร้าง	ปีเสร็จแล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
37	ฝายน้ำล้นคลองนารี	นาบ่อคำ	เมือง	-	-	2569	2569	12.0000
38	อาคารบังคับน้ำคลองห้วยขี้	นาบ่อคำ	เมือง	-	-	2569	2569	8.0000
39	อ่างเก็บน้ำห้วยกุ่ม	ทรงธรรม	เมือง	-	-	2569	2569	35.0000
40	อ่างเก็บน้ำห้วยโกรกพง	ทรงธรรม	เมือง	-	-	2569	2569	35.0000
41	อาคารบังคับน้ำกลางคลองเจริญ และขุดสระเก็บน้ำ 2 แห่ง อันเนื่องมาจากพระราชดำริ	เทพนิมิตร	บึงสามัคคี	-	-	2569	2569	13.0000
42	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านใหม่คลองเมือง 2 (ระยะที่ 2)	โกสัมพี	โกสัมพีนคร	900	-	2563	2563	10.0000
43	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านคลองแขยง 2	ท่าพุทธา	คลองขลุง	-	0.20	2563	2563	25.0000
44	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านแม่ลาด	แม่ลาด	คลองขลุง	2,219	0.20	2563	2563	25.0000
45	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านเกาะลำไย	วังบัว	คลองขลุง	2,500	0.12	2563	2563	25.0000
46	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านบึงช้าง	จันทิมา	ลานกระบือ	2,000	0.10	2563	2563	25.0000
47	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านเกาะน้ำโจน	ลานดอกไม้ออก	เมือง	3,500	0.11	2563	2563	25.0000
48	แก้มลิงคลองแขยง	ไตรตรึงษ์	เมือง	-	1.10	2563	2563	20.0000

ตารางที่ 2.3-5 (ต่อ) แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดกำแพงเพชร

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีเสร็จ แล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
49	แก้มลิงวังขอนพร้อม อาคารประกอบ	ระหาน	บึงสามัคคี	-	1.20	2563	2563	10.0000
50	แก้มลิงโนนใหญ่ พร้อม อาคารประกอบ	หนองทอง	ไทรงาม	-	1.50	2563	2563	10.0000
51	แก้มลิงบึงกระพัง พร้อมอาคารประกอบ	หนองทอง	ไทรงาม	-	1.00	2563	2563	10.0000
52	แก้มลิงคลองใน พร้อม อาคารประกอบ	หนองทอง	ไทรงาม	-	1.20	2563	2563	8.0000
53	แก้มลิงคลองสวนหมาก พร้อมอาคารประกอบ	โป่งน้ำร้อน	คลองลาน	-	1.10	2563	2563	50.0000
รวม				11,619	10.85			933.8550

2.3.2.2. รายงานแผนแม่บท การพัฒนาลุ่มน้ำระดับจังหวัด จังหวัดสุโขทัย

จากการรวบรวมข้อมูลรายงานแผนแม่บท การพัฒนาลุ่มน้ำระดับจังหวัด จังหวัดสุโขทัย จากสำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2563 พบว่า จังหวัดสุโขทัย มีพื้นที่ 4,168,011 ไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 2,460,609 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 59.04 ของพื้นที่จังหวัด โดยในพื้นที่เกษตรกรรมดังกล่าวมีการพัฒนาเป็นพื้นที่ชลประทานแล้ว 461,967 ไร่ หรือประมาณร้อยละ 18.77 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด

โครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่มีศักยภาพตามแผนการพัฒนาการชลประทานระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561–พ.ศ. 2580) แบ่งแผนดำเนินการก่อสร้างออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

- โครงการตามแผนระยะสั้น เป็นโครงการที่มีแผนดำเนินการแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2561 - พ.ศ. 2565
- โครงการตามแผนระยะกลาง เป็นโครงการที่มีแผนดำเนินการแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2566 - พ.ศ. 2570
- โครงการตามแผนระยะยาว เป็นโครงการที่มีแผนดำเนินการแล้วเสร็จภายใน พ.ศ. 2571 - พ.ศ. 2580

จังหวัดสุโขทัย มีโครงการที่อยู่ในแผนดำเนินการ จำนวน 76 โครงการ เป็นโครงการขนาดใหญ่ 1 โครงการ ขนาดกลาง 23 โครงการ ขนาดเล็ก 51 โครงการ และโครงการพัฒนาชลประทานที่มีลักษณะโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างจังหวัด 1 โครงการ หากดำเนินการแล้วเสร็จตามแผนทั้งหมดจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 126.25 ล้านลูกบาศก์เมตร และจะมีพื้นที่ชลประทานเพิ่มขึ้น 277,600 ไร่ รวมเป็น 739,567 ไร่ ใช้วงเงินรวม 7,724 ล้านบาท ดัง **ตารางที่ 2.3-6** ถึง**ตารางที่ 2.3-9** และ**รูปที่ 2.3-13** โดยสามารถสรุปตามระยะดำเนินการได้ดังนี้

1) โครงการตามแผนระยะสั้น (พ.ศ. 2561 – พ.ศ. 2565)

มีโครงการที่ดำเนินการตามแผนระยะสั้น 46 โครงการ เป็นขนาดกลาง 12 โครงการ ขนาดเล็ก 33 โครงการ และโครงการพัฒนาชลประทานที่มีลักษณะโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างจังหวัด 1 โครงการ หากก่อสร้างแล้วเสร็จจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 56.60 ล้านลูกบาศก์เมตร และเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 206,300 ไร่ ใช้เงินงบประมาณสำหรับโครงการในแผนระยะสั้น 4,489 ล้านบาท

2) โครงการตามแผนระยะกลาง (พ.ศ. 2566 – พ.ศ. 2570)

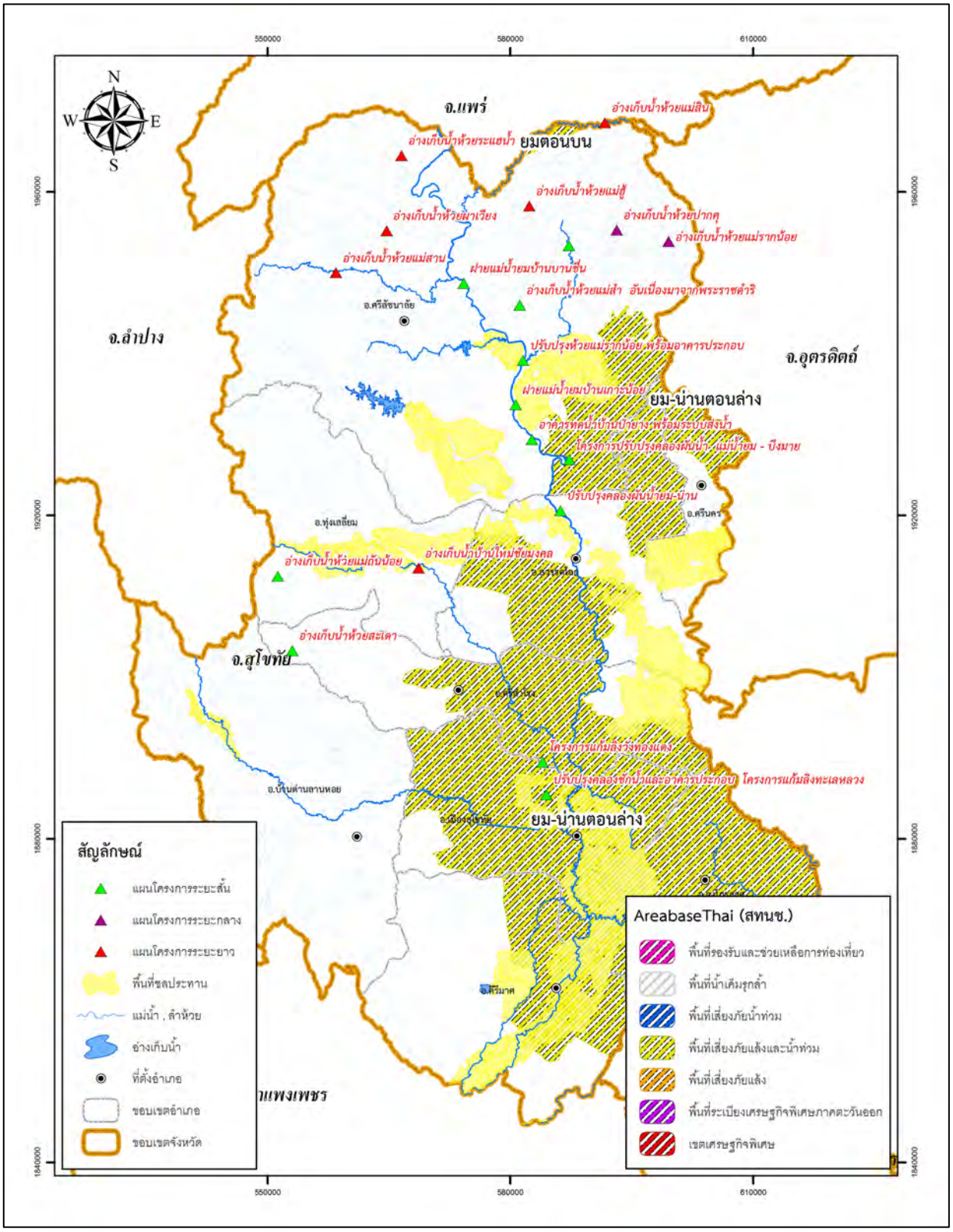
มีโครงการที่ดำเนินการตามแผนระยะกลาง 24 โครงการ เป็นโครงการขนาดใหญ่ 1 โครงการ ขนาดกลาง 5 โครงการ และขนาดเล็ก 18 โครงการ หากก่อสร้างแล้วเสร็จจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 19.04 ล้านลูกบาศก์เมตร และเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 36,100 ไร่ ใช้เงินงบประมาณสำหรับโครงการในแผนระยะกลาง 2,030 ล้านบาท

3) โครงการตามแผนระยะยาว (พ.ศ. 2571 – พ.ศ. 2580)

มีโครงการที่ดำเนินการตามแผนระยะยาว 6 โครงการ เป็นโครงการขนาดกลาง 6 โครงการ หากก่อสร้างแล้วเสร็จจะสามารถเก็บกักน้ำได้เพิ่มอีก 50.61 ล้านลูกบาศก์เมตร และเพิ่มพื้นที่ชลประทาน 35,200 ไร่ ใช้เงินงบประมาณสำหรับโครงการในแผนระยะยาว 1,203 ล้านบาท

ตารางที่ 2.3-6 สรุปแผนการพัฒนาชลประทานระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย จำแนกตามขนาดและระยะดำเนินการ

ขนาดโครงการ	แผนงานโครงการ ระยะ 20 ปี			
	ระยะสั้น (2561-2565)	ระยะกลาง (2566-2570)	ระยะยาว (2571-2580)	รวม 20 ปี (2561-2580)
1. ขนาดใหญ่				
- จำนวน (โครงการ)	-	1	-	1
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	-	-	-	-
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	-	-	-	-
- วงเงิน (ล้านบาท)	-	400.000	-	400.000
2. ขนาดกลาง				
- จำนวน (โครงการ)	12	5	6	23
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	48.040	15.140	50.610	113.790
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	197,300	18,900	35,200	251,400
- วงเงิน (ล้านบาท)	3,361.3668	1,221.7500	1,203.0000	5,786.1168
3. ขนาดเล็ก				
- จำนวน (โครงการ)	33	18	-	51
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	8.561	3.90	-	12.46
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	4,000	17,200	-	21,200
- วงเงิน (ล้านบาท)	578.4337	409.1700	-	987.6037
รวมทุกขนาด				
- จำนวน (โครงการ)	**45**	**24**	**6**	**75**
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	**56.60**	**19.04**	**50.61**	**126.25**
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	**201,300**	**36,100**	**35,200**	**272,600**
- วงเงิน (ล้านบาท)	**3,939.8005**	**2,030.9200**	**1,203.0000**	**7,173.7205**
โครงการพัฒนาชลประทานที่มีลักษณะโครงข่ายเชื่อมโยงระหว่างจังหวัด				
- จำนวน (โครงการ)	1	-	-	1
- ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	-	-	-	-
- พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	5,000	-	-	5,000
- วงเงิน (ล้านบาท)	550.0000	-	-	550.0000



รูปที่ 2.3-13 แผนงานโครงการขนาดใหญ่และขนาดกลาง ระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย

ตารางที่ 2.3-7 แผนงานโครงการขนาดใหญ่และโครงการขนาดกลาง ระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีแล้วเสร็จ	วงเงิน (ล้านบาท)
โครงการขนาดใหญ่								
1	ปรับปรุงคลองชักน้ำแม่บ้านฝั่งขวา		สวรรคโลก	-	-	2564	2568	400.0000
	รวมโครงการขนาดใหญ่			-	-			**400.0000**
โครงการขนาดกลาง								
1	อ่างเก็บน้ำห้วยไร่ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ	บ้านตึก	ศรีสัชนาลัย	4,500	7.33	2562	2564	300.0000
2	โครงการปรับปรุงคลองผันน้ำ แม่น้ำยม - บึงมาย	ศรีสัชนาลัย, คลองยาง	ศรีสัชนาลัย ,สวรรคโลก	39,100	-	2563	2565	180.0000
3	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่สำ อันเนื่องมาจากพระราชดำริ	แม่สำ	ศรีสัชนาลัย	3,200	4.93	2563	2565	180.0000
4	ฝายแม่น้ำยมบ้านเกาะน้อย	หนองอ้อ	ศรีสัชนาลัย	5,000	-	2566	2568	369.0000
5	ฝายแม่น้ำยมบ้านบานชื่น	แม่สำ	ศรีสัชนาลัย	5,000	-	2567	2569	276.7500
6	อาคารทดน้ำบ้านป่ายาง พร้อมระบบส่งน้ำ	หนองอ้อ	ศรีสัชนาลัย	5,000		2563	2565	350.0000
7	อ่างเก็บน้ำห้วยปากคุ	บ้านตึก	ศรีสัชนาลัย	4,600	6.00	2564	2566	250.0000
8	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่รากน้อย	บ้านตึก	ศรีสัชนาลัย	3,000	6.50	2564	2566	280.0000
9	ปรับปรุงห้วยแม่รากน้อย พร้อมอาคารประกอบ	บ้านตึก	ศรีสัชนาลัย	44,000	-	2562	2564	400.0000
10	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่สิน	แม่สิน	ศรีสัชนาลัย	21,700	19.05	2578	2580	544.0000
11	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ฮู้	แม่สิน	ศรีสัชนาลัย	900	7.19	2578	2580	93.0000
12	อ่างเก็บน้ำห้วยระแฮน้ำ	แม่สิน	ศรีสัชนาลัย	3,900	5.20	2578	2580	158.0000
13	อ่างเก็บน้ำห้วยผาเวียง	แม่สิน	ศรีสัชนาลัย	3,300	9.96	2578	2580	145.0000
14	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่สาน	แม่สิน	ศรีสัชนาลัย	4,300	5.66	2578	2580	166.0000

ตารางที่ 2.3-7 (ต่อ) แผนงานโครงการขนาดใหญ่และโครงการขนาดกลาง ระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีแล้วเสร็จ	วงเงิน (ล้านบาท)
15	โครงการแก้มลิงวังทองแดง	วังทองแดง	เมือง	10,000	17.90	2561	2564	750.0000
16	แก้มลิงวังทองแดงพร้อมอาคารประกอบ ระยะที่ 2 โครงการแก้มลิงวังทองแดง	วังทองแดง	เมือง	-	12.90	2561	2563	437.2365
17	ปรับปรุงคลองชักน้ำและอาคารประกอบ โครงการแก้มลิงทะเลหลวง		เมืองสุโขทัย ,ศรีสาโรง	30,000		2561	2563	307.0000
18	อ่างเก็บน้ำห้วยสะเดา	นาขุนไก	ศรีสาโรง	1,300	2.64	2566	2568	46.0000
19	ทรบ.คลองตาไร่ พร้อมระบบระบายน้ำ	ทับผึ้ง	ศรีสาโรง	-	-	2561	2563	72.8238
20	ปรับปรุงคลองท่าช้างพร้อมระบบระบายน้ำ	ทับผึ้ง	ศรีสาโรง	-	-	2561	2563	79.3065
21	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ถันน้อย	กลางดง	ทุ่งเสลี่ยม	2,300	4.98	2562	2563	150.0000
22	อ่างเก็บน้ำบ้านใหม่ชัยมงคล	เขาแก้วศรีสมบูรณ์	ทุ่งเสลี่ยม	1,100.00	3.55	2578	2580	97.0000
23	โครงการปรับปรุงคลองผันน้ำ แม่น้ำยม - บึงสวย	คลองยาง,ป่ากุมเกาะ	สวรรคโลก,ศรีนคร	59,200	-	2563	2565	155.0000
	รวมโครงการขนาดกลาง			**251,400**	**113.790**			**5,786.1168**
รวมทั้งหมด				**251,400**	**113.790**			**6,186.1168**

ตารางที่ 2.3-8 แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีเสร็จ แล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
1	ระบบสาธารณูปโภค ไฟฟ้า ประปา ปตร.วังสะตือ	ตงเตือย	กงไกรลาศ	-	-	2562	2562	4.0000
2	ฝายบ้านหนองจิกกรีพร้อมระบบส่งน้ำ	หนองหญ้าปล้อง	บ้านด่านลานหอย	-	0.25	2561	2561	19.0180
3	ฝายคลองน้ำพุ	บ้านน้ำพุ	คีรีมาศ	-	0.17	2562	2562	10.5030
4	อาคารบังคับน้ำคลองหินเสมา	วังน้ำขาว	บ้านด่านลานหอย	-	0.1	2562	2562	20.0000
5	ฝายน้ำล้นคลองลำเกลียว(เหมืองพระบาท)	นาเชิงคีรี	คีรีมาศ	-	0.15	2563	2563	13.8000
6	ฝายบ้านสะพานยาวพร้อมระบบส่งน้ำ แห่งที่ ๑	แม่สำ	ศรีสัชนาลัย	-	0.1	2563	2563	18.5000
7	ฝายพร้อมระบบส่งน้ำบ้านท่าชุม	ทุ่งเสลี่ยม	ทุ่งเสลี่ยม	-	1.66	2564	2564	12.1000
8	ฝายบ้านสันหีบพร้อมระบบส่งน้ำ	แม่สำ	ศรีสัชนาลัย	-	-	2565	2565	14.5000
9	ฝายพร้อมระบบส่งน้ำบวกมะเกลือ	ไทยชนะศึก	ทุ่งเสลี่ยม	1,000	-	2566	2566	12.1700
10	ฝายบ้านท่าต่าน	ป่างิ้ว	ศรีสัชนาลัย	-	0.03	2564	2564	11.0000
11	ฝายพร้อมระบบส่งน้ำบ้านสุวรรณคีรี	ศรีคีรีมาศ	คีรีมาศ	1,000	-	2564	2564	7.0000
12	อาคารบังคับน้ำคลองตาใน	บ้านไร่	ศรีสำโรง	-	0.75	2564	2564	48.3000
13	อ่างเก็บน้ำห้วยสะเตา	นาขุนไกร	ศรีสำโรง	-	2.64	2565	2565	46.0000
14	ฝายพร้อมระบบส่งน้ำบ้านโชกม่วง	ทุ่งเสลี่ยม	ทุ่งเสลี่ยม	-	-	2565	2565	8.6000
15	ฝายห้วยแม่ฟอก	แม่สิน	ศรีสัชนาลัย	500	-	2565	2565	9.3500
16	ฝายพงเสลียง	แม่สิน	คีรีมาศ	-	0.16	2563	2563	40.0000
17	อ่างเก็บน้ำแม่ถัน	กลางดง	ศรีสำโรง	-	1.6	2566	2566	43.0000

ตารางที่ 2.3-8 (ต่อ) แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี ก่อสร้าง	ปีเสร็จ แล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
18	อาคารบังคับน้ำคลองเหนือ พร้อมอาคารประกอบ	นาขุนไกร	ศรีสำโรง	-	-	2566	2566	30.0000
19	อ่างเก็บน้ำเต่นจี้	กลางดง	ทุ่งเสลี่ยม	-	0.8	2566	2566	18.0000
20	อ่างเก็บน้ำวังชมพู	กลางดง	ทุ่งเสลี่ยม	-	0.4	2567	2567	17.2500
21	อ่างเก็บน้ำห้วยแม่เทิน	แม่สิน	ศรีสัชนาลัย	-	0.6	2568	2568	2.7500
22	อ่างเก็บน้ำห้วยสัก	บ้านตึก	ศรีสัชนาลัย	-	0.5	2568	2568	12.0000
23	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านคลองกระจง	คลองกระจง	สวรรคโลก	1,000	-	2564	2564	32.0000
24	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านใต้วัด ม.2	วัดเกาะ	ศรีสำโรง	1,500	-	2565	2565	29.0000
25	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านย่านยาว ม.11	ย่านยาว	สวรรคโลก	2,200	-	2566	2566	17.0000
26	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านนา ม.3	บ้านนา	ศรีสำโรง	3,000	-	2567	2567	18.0000
27	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านคลองหนองโว้ง หมู่ 1	สามเรื่อน	ศรีสำโรง	1,000	-	2568	2568	30.0000
28	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านท่าข้าง	ทับผึ้ง	ศรีสำโรง	1,500	-	2569	2569	30.0000
29	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านวังใหญ่ ม.1	วังใหญ่	ศรีสำโรง	3,000	-	2569	2569	18.0000
30	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านเกาะวงษ์เกียรติ์	ทับผึ้ง	ศรีสำโรง	1,000	-	2569	2569	18.0000

ตารางที่ 2.3-8 (ต่อ) แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปีก่อสร้าง	ปีเสร็จแล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
31	สถานีสบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านวังทอง ม.5	วังทอง	ศรีสำโรง	1,000	-	2569	2569	17.0000
32	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านหนองแหน	วัดเกาะ	ศรีสำโรง	1,500	-	2569	2569	30.0000
33	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพร้อมระบบส่งน้ำบ้านเกาะน้อย	หนองอ้อ	ศรีสัชนาลัย	2,000	-	2569	2569	28.0000
34	โครงการแก้มลิงคลองสระบัวลอย	โตนด	คีรีมาศ	-	0.5	2564	2564	24.0000
35	โครงการปรับปรุงคลองตุรี	ศรีคีรี **ถึง** บ้านน้ำพุ	คีรีมาศ	-	0.13	2564	2564	22.3300
36	การแก้มลิงบึงสนิท	หนองจิก	คีรีมาศ	-	0.4	2564	2564	26.5000
37	ทรบ.คลองตาโฮ่ พร้อมระบบระบายน้ำ	ทับผึ้ง	ศรีสำโรง	-	0.03	2561	2561	49.4327
38	ป้องกันตลิ่งปลายคลองหนองปลาหมอ	คลองกระจง	สวรรคโลก	-	-	2562	2562	19.0000
39	ทรบ.คลองหนองปลาหมอ กม.0+070 พร้อมอาคารประกอบ	ย่านยาว	สวรรคโลก	-	-	2563	2563	18.0000
40	ทรบ.คลองหนองปลาหมอ กม.2+080 พร้อมอาคารประกอบ	ย่านยาว	สวรรคโลก	-	-	2563	2563	9.0000
41	ทรบ.คลองหนองปลาหมอ กม.3 +460	คลองกระจง	สวรรคโลก	-	-	2564	2564	5.0000
42	ปรับปรุงคลองหนองปลาหมอ พร้อมอาคารประกอบ	ย่านยาว	สวรรคโลก	-	-	2564	2564	10.0000

ตารางที่ 2.3-8 (ต่อ) แผนงานโครงการขนาดเล็ก ระยะ 20 ปี จังหวัดสุโขทัย

ที่	โครงการ	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่ ชป. (ไร่)	ความจุ (ล้าน ลบ.ม.)	ปีก่อสร้าง	ปีเสร็จแล้ว	วงเงิน (ล้านบาท)
43	ปรับปรุง ทรบ.กลาง คลอง DL.2 กม.2+560 1 แห่ง	ปากน้ำ	สวรรคโลก	-	0.30	2563	2563	8.0000
44	ทรบ.กลางคลอง DL.2 กม.4+500	คลองกระจง	สวรรคโลก	-	0.30	2564	2564	7.5000
45	ปรับปรุง ทรบ.กลาง คลอง DL.2 กม.1+778 1 แห่ง	ปากน้ำ	สวรรคโลก	-	0.30	2563	2563	7.8000
46	ทรบ.กลางคลอง DL.2 กม.3+775	คลองกระจง	สวรรคโลก	-	0.30	2565	2565	8.0000
47	ทรบ.กลางคลอง DL.2 กม.0+070	ปากน้ำ	สวรรคโลก	-	0.30	2565	2565	8.2000
48	อาคารบังคับน้ำ กม. 1+965 ของคันกั้นน้ำอ่างเก็บน้ำหนองปลาหมอ	ย่านยาว	สวรรคโลก	-	-	2565	2565	6.0000
49	อาคารบังคับน้ำ กม. 2+560 ของคันกั้นน้ำอ่างเก็บน้ำหนองปลาหมอ	ย่านยาว	สวรรคโลก	-	-	2565	2565	6.0000
50	ทรบ.ปากคลองระบาย DL.1	ย่านยาว	สวรรคโลก	-	-	2566	2566	8.0000
51	ทรบ.กลางคลองระบาย DL.1 กม.1+050	ย่านยาว	สวรรคโลก	-	-	2566	2566	4.0000
รวม				**21,200**	**12.46**			**978.6037**

2.3.2.3. โครงการปรับปรุงคลองยม - น่าน จังหวัดสุโขทัย

จากมติคณะรัฐมนตรีวันที่ 7 เมษายน 2563 เรื่อง ขออนุมัติดำเนินโครงการปรับปรุงคลองยม – น่าน จังหวัดสุโขทัย คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบให้กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กษ.) โดยกรมชลประทาน ดำเนินการโครงการปรับปรุงคลองยม - น่าน จังหวัดสุโขทัย ภายในกรอบวงเงิน 2,875 ล้านบาท ระยะเวลาดำเนินการ 5 ปี (ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2567) ตามที่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์เสนอ ผลลัพธ์ของโครงการเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาอุทกภัยในพื้นที่อำเภอเมือง อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย และอำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ ครอบคลุม 15 ตำบล 27 หมู่บ้าน 5,340 ครัวเรือน เพื่อกักเก็บน้ำในแนวคลองไว้ใช้เพื่ออุปโภค บริโภค เพื่อทำการเกษตรและการปศุสัตว์ในช่วงฤดูแล้ง ครอบคลุมพื้นที่ 7,300 ไร่ โดยมีแผนการก่อสร้างแสดงดัง**รูปที่ 2.3-14**

รูปที่ 2.3-14 แผนการก่อสร้างโครงการปรับปรุงคลองยม - น่าน จังหวัดสุโขทัย

ที่ตั้งโครงการอยู่บริเวณจุดรับน้ำเข้า (คลองหกบาท) อยู่ที่ตำบลป่ากุมเกาะ อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย และจุดระบายน้ำลงแม่น้ำน่าน (ปลายคลองยม - น่าน) อยู่ที่ตำบลคอรุม อำเภอพิชัย จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยมีการดำเนินงานในส่วนของการปรับปรุงคลองระบายน้ำ และการก่อสร้างและปรับปรุงอาคารประกอบตามแนวคลอง ดังนี้

- การปรับปรุงคลองระบายน้ำ ประกอบด้วย
  - การปรับปรุงคลองหกบาท (กม. 2+600 ถึง กม. 5+700) ความยาว 3.10 กิโลเมตร เพื่อให้สามารถรับน้ำได้ จากเดิม 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เป็น 500 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยปรับปรุงเป็นคลองดาดคอนกรีต พร้อมก่อสร้างถนนลาดยางและถนนดินลูกรัง
  - การปรับปรุงคลองยม - น่าน (กม. 0+000 ถึง กม. 34+850) ความยาว 34.850 กิโลเมตร เพื่อให้สามารถรับน้ำได้ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยปรับปรุงเป็นคลองดาดคอนกรีต พร้อมก่อสร้างถนนลาดยางและถนนดินลูกรัง
  - การขุดคลองชักน้ำและอาคารประกอบ 2 จุด ได้แก่ (1) งานขุดคลองชักน้ำจากแม่น้ำยมลงคลองหกบาท บริเวณ กม. 2+600 ความยาว 400 เมตร ให้สามารถรับน้ำได้ 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พร้อมก่อสร้างประตูระบายน้ำใหม่ 1 แห่ง (2) งานขุดคลอง 1 ซ้าย เพื่อชักน้ำจากคลองยม - น่าน บริเวณ กม. 34+850 ลงแม่น้ำน่าน ความยาว 450 เมตร ให้สามารถรับน้ำได้ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
  - การป้องกันตลิ่งประตูระบายน้ำคอรุม โดยปรับปรุงตลิ่งด้านท้ายประตูระบายน้ำคอรุม ซึ่งเป็นจุดที่คลองยม – น่าน ไหลมาบรรจบกับแม่น้ำน่าน ความยาวประมาณ 120 เมตร
- การก่อสร้างและปรับปรุงอาคารประกอบตามแนวคลอง ประกอบด้วย
  - งานก่อสร้างประตูระบายน้ำ 2 แห่ง และงานปรับปรุงประตูระบายน้ำ 3 แห่ง เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณน้ำจากการปรับปรุงคลองได้
  - งานก่อสร้างสะพานรถยนต์ 8 แห่ง และงานก่อสร้างสะพานรถไฟ 1 แห่งเพื่อใช้เป็นเส้นทางสัญจรเชื่อมระหว่าง 2 ฝั่งคลอง
  - งานรื้อถอนฝายเดิมที่กีดขวางทางน้ำ
  - งานก่อสร้างท่อระบายน้ำปากคลองและอาคารรับน้ำ
  - งานก่อสร้างท่อส่งน้ำข้ามคลอง

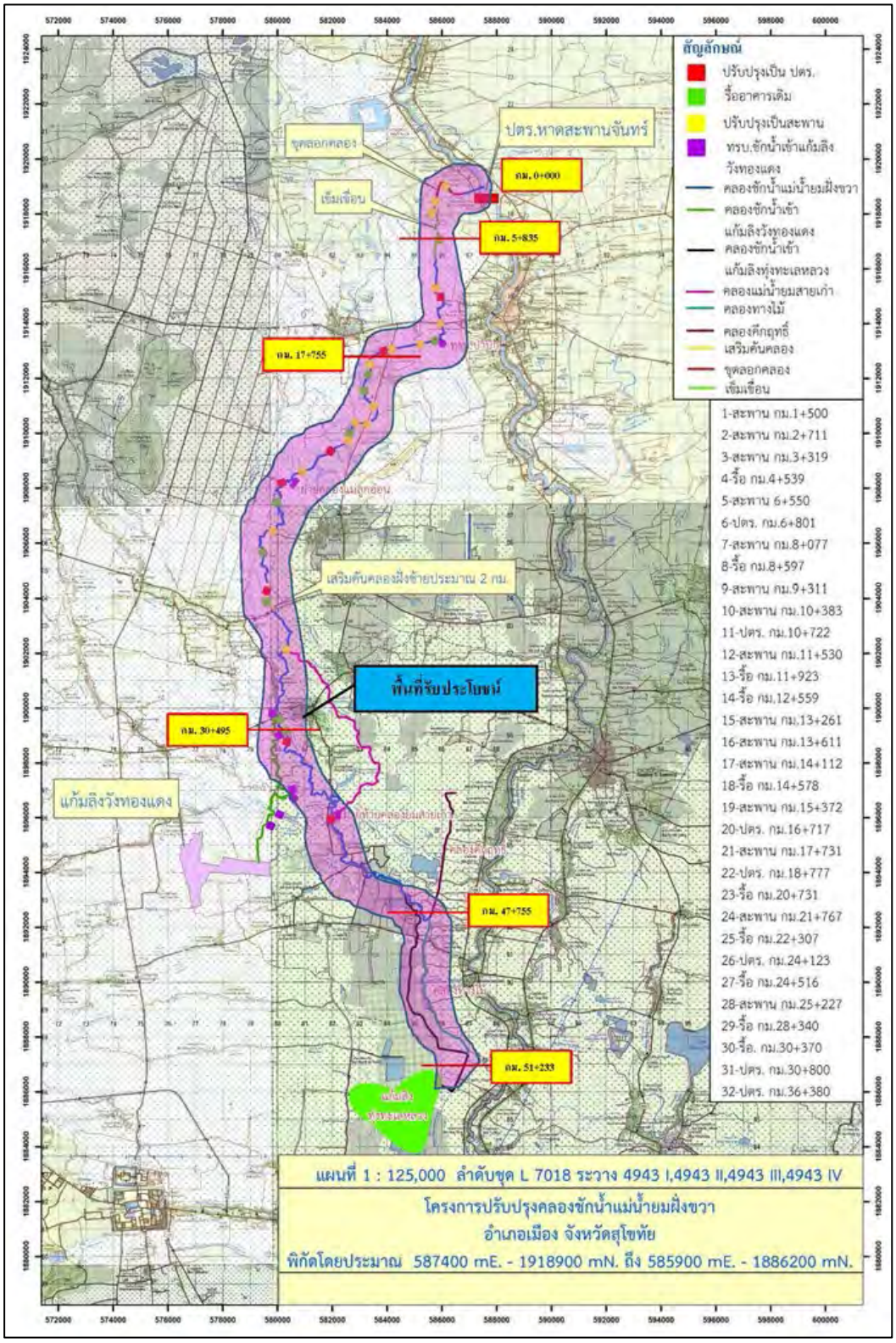
โดยสถานะของโครงการในปัจจุบัน อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง เริ่มดำเนินการในปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 - พ.ศ. 2567

2.3.2.4. โครงการปรับปรุงคลองชักน้ำแม่น้ำยมฝั่งขวา

โครงการปรับปรุงคลองชักน้ำแม่น้ำยมฝั่งขวา โดยกรมชลประทาน เป็นโครงการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อบรรเทาอุทกภัยในเขตพื้นที่ตัวเมืองสุโขทัย โดยควบคุมปริมาณน้ำที่จะไหลผ่านพื้นที่เศรษฐกิจจังหวัดสุโขทัย ให้อยู่ในเกณฑ์ที่รับน้ำได้ และเพิ่มศักยภาพการรับน้ำเพื่อการระบายน้ำของคลองเพื่อรองรับอัตราการไหลสูงสุด 350 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยลักษณะของโครงการเป็นการปรับปรุงคลองระบายน้ำด้านขวาของแม่น้ำยม ดังแสดงใน **รูปที่ 2.3-15** และ **2.3-16** ซึ่งมีองค์ประกอบของการก่อสร้างดังนี้

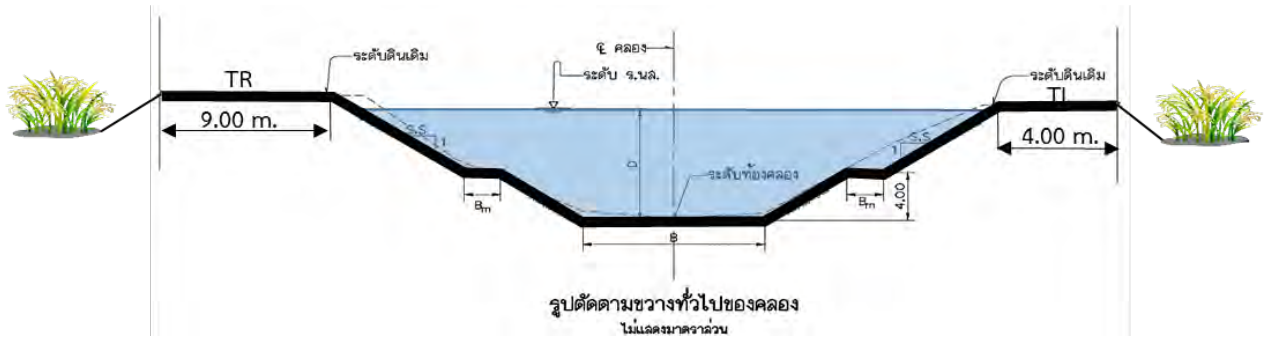
1) งานปรับปรุงคลองช่วง กม.0+000 ถึง กม.5+835 ความยาวประมาณ 5.84 กิโลเมตร เพื่อให้สามารถรับน้ำได้ 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
2) งานปรับปรุงคลองช่วง กม.5+835 ถึง กม.17+345 ความยาวประมาณ 11.51 กิโลเมตร เพื่อให้สามารถรับน้ำได้ 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
3) งานปรับปรุงคลองช่วง กม.17+345 ถึง กม.30+495 ความยาวประมาณ 13.15 กิโลเมตร เพื่อให้สามารถรับน้ำได้ 250 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
4) งานปรับปรุงคลองช่วง กม.30+495 ถึงกม.47+755 ความยาวประมาณ 17.26 กิโลเมตรเพื่อให้สามารถรับน้ำได้ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
5) งานปรับปรุงคลองช่วง กม.47+755 ถึงกม.54+647 ความยาวประมาณ 6.89 กิโลเมตร เพื่อให้สามารถรับน้ำได้ 350 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
6) งานก่อสร้างและปรับปรุงอาคารประกอบตามแนวคลอง เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบคลองที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ ประมาณ 89 แห่ง

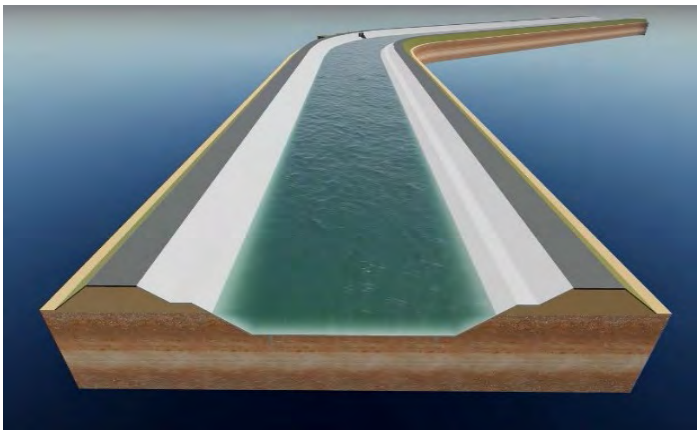
สำหรับความก้าวหน้าของโครงการในปัจจุบัน (มิถุนายน พ.ศ. 2566) กำลังอยู่ในระหว่างการตรวจสอบแบบรายละเอียดการก่อสร้างครั้งที่ 2 โดยสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน ซึ่งโครงการนี้คาดว่าจะเริ่มดำเนินงานก่อสร้างในช่วงปีงบประมาณ 2568-2573



รูปที่ 2.3-15 แนวการก่อสร้างปรับปรุงคลองขักน้ำแม่น้ำยมฝั่งขวา โดยกรมชลประทาน

ที่มา: กรมชลประทาน 2566





ลำดับ	ช่วงคลอง	อัตรา (ลบ.ม./วินาที)	ความกว้างปากคลอง (ม.)	ความกว้างก้นคลอง (ม.)	ความลึก (ม.)
1.	กม.0+000 – 5+835	100	30	20	4
2.	กม.5+835 – 17+345	200	50	30	6
3.	กม.17+345 – 30+495	250	60	35	6
4.	กม.30+495 – 47+755	300	65	40	6
5.	กม.47+755 – 54+647.434	350	70	50	6

รูปที่ 2.3-16 รายละเอียดรูปตัดการปรับปรุงคลองชักน้ำแม่น้ำยมฝั่งขวา โดยกรมชลประทาน