



สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Coefficient of multiple correlation)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ เขียนแทนด้วย R คือ ค่าวัดระดับความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระทั้งหมดรวมกัน มีค่าเท่ากับรากที่สองของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ

$$R = \sqrt{R^2}$$

R มีค่าเป็นบวกเสมอ คือ $0 \leq R \leq 1$ ถ้า $R = 1$ หมายถึงมีความสัมพันธ์อย่างสมบูรณ์ และ 0 หมายถึงไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทั้งหมด

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน (Partial correlation coefficient)

รากที่สองของสัมประสิทธิ์การตัดสินใจบางส่วน เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน กำหนดเครื่องหมายบวกหรือลบตามสัมประสิทธิ์การถดถอยที่สอดคล้องกัน ในสมการที่ประมาณ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วน เป็นค่าวัดระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรอิสระ X หนึ่งตัว โดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่นๆ คงที่

ในกรณีมีตัวแปรตาม Y ตัวแปรอิสระ X_1, X_2, \dots, X_k เขียนสัญลักษณ์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนได้ดังนี้

$r_{Y2.1}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่าง Y กับ X_2 กำหนดให้ X_1 คงที่

$r_{Y1.23}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่าง Y กับ X_1 กำหนดให้ X_2 และ X_3 คงที่

$r_{Y2.134}$ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนระหว่าง Y กับ X_2 กำหนดให้ X_1, X_3 และ X_4 คงที่

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนและทดสอบ F

การทดสอบ F (F - test) จำเป็นต้องสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA table) เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบ $H_0: \beta_1 = 0$ สำหรับค่าสถิติ SST, SSR และ SSE คำนวณได้

จากสูตร

$$SST = \sum Y^2 - \frac{\sum Y^2}{n}$$

$$SSR = b'X'Y - \frac{\sum Y^2}{n}$$

$$SSE = Y'Y - b'X'Y \text{ หรือ } SSE = SST - SSR$$

สร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังนี้



ตารางที่ 8.1-1 ANOVA สำหรับการถดถอย

แหล่งของความแปรผัน (Source of variation)	ผลบวกกำลังสอง (Sum of square)	องศาแห่งความเป็นอิสระ DF	กำลังสองเฉลี่ย (Mean square) MS	F
การถดถอย (Regression)	SSR	K	$MSR = \frac{SSR}{k}$	$F = \frac{MSR}{MSE}$
ความคลาดเคลื่อน (error)	SSE	n - k - 1	$MSE = \frac{SSE}{n - k - 1}$	
รวม (total)	SST	n - 1		

ข้อสังเกต การทดสอบ F ในสมการถดถอยพหุคูณ ผลสรุปอาจไม่สอดคล้องการทดสอบ t เหมือนสมการถดถอยอย่างง่าย ทั้งนี้เพราะการทดสอบ t สำหรับ $\beta_j, j=1,2,\dots$ ต้องการดูความมีนัยสำคัญของตัวแปรอิสระตัวใดตัวหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับ Y โดยกำหนดให้ตัวแปรอิสระอื่นๆ ที่เหลือมีค่าคงที่ ส่วนการทดสอบ F หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแปรอิสระทุกตัวรวมกัน มีความสัมพันธ์กับ Y หรือไม่ จึงให้ผลอาจจะแตกต่างกัน

วิธีเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอย

วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการเพื่อให้สมการสามารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้สูงสุด มีวิธีการคัดเลือกตัวแปรหลายวิธี ในที่นี้จะได้นำเสนอ 4 วิธี ดังนี้

- 1) วิธีการเลือกแบบคัดเลือกเข้า (Enter selection) วิธีการนี้จะเป็นการเลือกตัวแปรพยากรณ์เข้าสมการด้วยการวิเคราะห์เพียงขั้นตอนเดียว ซึ่งเป็นการคัดเลือกโดยใช้วิจารณ์ญาณของผู้วิจัยเองว่าจะคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ใดบ้างเข้าสมการ เริ่มตั้งแต่การคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์มาศึกษา เมื่อคัดเลือกและเก็บข้อมูลแล้วทำการวิเคราะห์สถิติพื้นฐานและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ก่อนและใช้สถิติพื้นฐานโดยเฉพาะค่าความแปรปรวนหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรพยากรณ์และระหว่างตัวแปรพยากรณ์ด้วยกันในการคัดเลือกควรคัดเลือกตัวแปรที่มีความแปรปรวนมาก ๆ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเกณฑ์กับตัวแปรพยากรณ์มีค่าสูง ๆ และมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ด้วยกันมีค่าน้อยและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อคัดเลือกแล้วจะใช้ตัวแปรพยากรณ์ทุกตัวที่เลือกวิเคราะห์พร้อม ๆ กันทุกตัวแปรเข้าสมการหมด
- 2) วิธีการเลือกแบบก้าวหน้า (Forward selection) วิธีการนี้จะเป็นการเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่มีสหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อน ส่วนตัวแปรที่เหลือจะมีการค้นหาสหสัมพันธ์แบบ



แยกส่วน (Partial correlation) โดยเป็นความสัมพันธ์เฉพาะตัวแปรที่เหลือตัวนั้นกับตัวแปรตาม โดยขจัดอิทธิพลของตัวแปรอื่น ๆ ออก ถ้าตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กันสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็จะนำเข้ามาสมการต่อไป จะทำแบบนี้จนกระทั่งสหสัมพันธ์แบบแยกส่วนระหว่างตัวแปรอิสระที่ไม่ได้นำเข้ามาสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดเลือกและได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด

- 3) วิธีการเลือกแบบถอยหลัง (Backward selection) วิธีการนี้เป็นการนำตัวแปรพยากรณ์ทั้งหมดเข้ามาสมการจากนั้นก็ค่อย ๆ ขจัดตัวแปรพยากรณ์ออกทีละตัว โดยจะหาสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตาม เมื่อขจัดตัวแปรพยากรณ์อื่น ๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะขจัดออกจากสมการแล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไปจนกระทั่งสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรพยากรณ์แต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรอิสระอื่น ๆ ออกแล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดเลือก และได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด
- 4) วิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise selection) การคัดเลือกแบบนี้เป็นการผสมผสานระหว่างวิธีการคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ทั้งแบบก้าวหน้าและแบบถอยหลังเข้าด้วยกัน ในขั้นแรกจะเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้ามาสมการก่อนจากนั้นก็ทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่ามีตัวแปรใดบ้างมีสิทธิ์เข้ามาอยู่ในการสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า (Forward selection) และขณะเดียวกันก็จะทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่า ตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการตัวใดมีโอกาสที่จะถูกขจัดออกจากสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง (Backward selection) โดยจะกระทำการคัดเลือกผสมทั้งสองวิธีนี้ในทุกขั้นตอนจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่ถูกคัดออกจากสมการและไม่มีตัวแปรใดที่จะถูกนำเข้ามาสมการกระบวนการก็จะยุติ และได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด



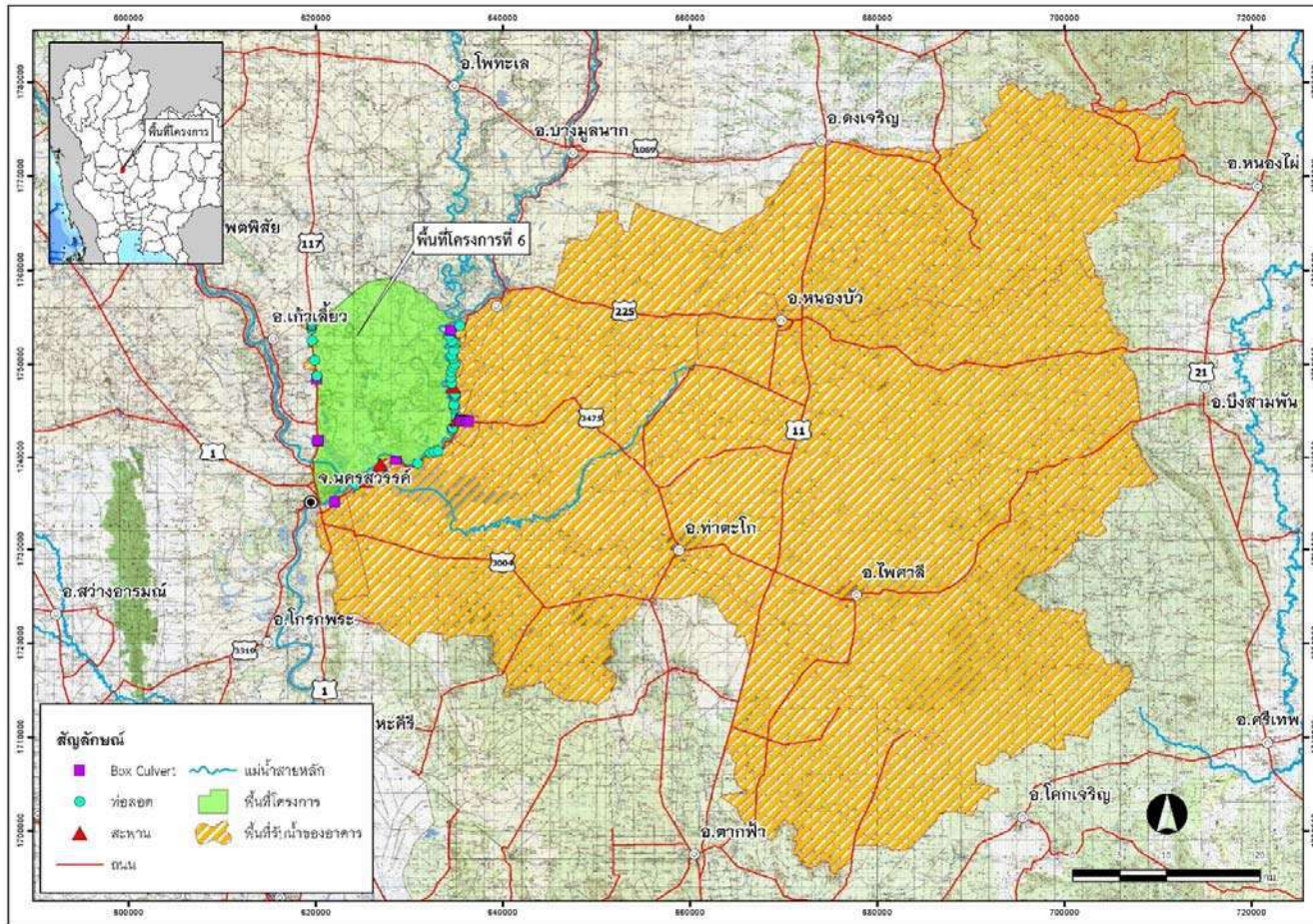
8.1.2. การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

ในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด จะใช้หลักการวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple regression analysis) ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 8.1.1 มาทำการวิเคราะห์ โดยที่ตัวแปรตาม คือ อัตราการไหลสูงสุด ในขณะที่ตัวแปรอิสระ คือ ลักษณะทางกายภาพตามผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 7.3

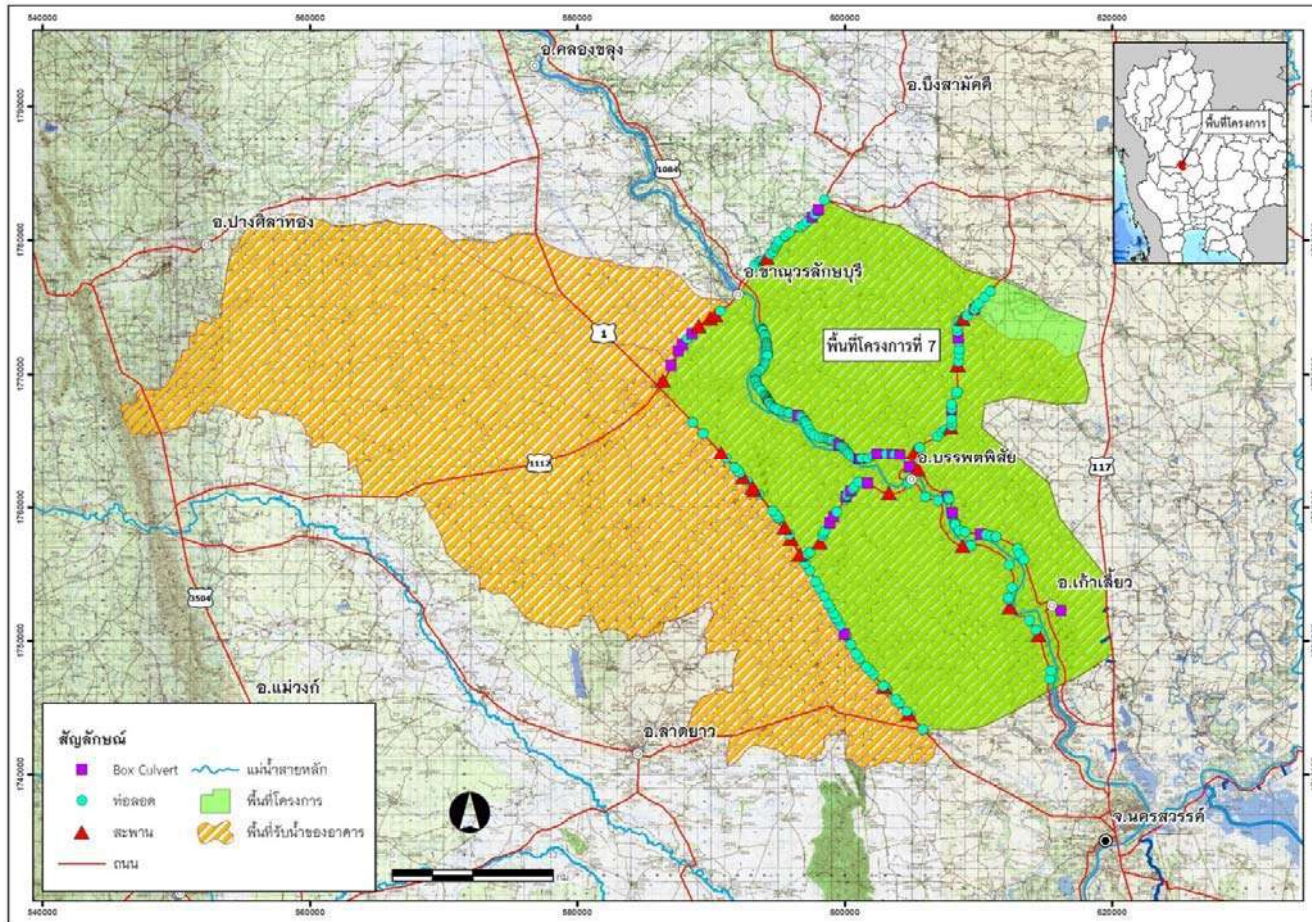
สำหรับในการประเมินอัตราการไหลสูงสุด เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรมทางสถิติจะใช้ผลการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด ณ ตำแหน่งอาคารระบายน้ำแต่ละแห่งของพื้นที่ศึกษานำร่องจากผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง MIKE FLODD โดยใช้เหตุการณ์ในช่วงของการเปรียบเทียบแบบจำลองเป็นกรณีศึกษา ในขณะที่ปัจจัยทางด้านกายภาพ ของอาคารระบายน้ำ จะประเมินโดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ในการแบ่งขนาดพื้นที่รับน้ำของอาคารแต่ละแห่ง แล้วจึงวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ต่างๆ ตามปัจจัยทางกายภาพที่กำหนด สำหรับอาคารระบายน้ำนั้น ๆ โดยแผนที่ของพื้นที่รับน้ำฝนสำหรับอาคารระบายน้ำแต่ละแห่ง ในพื้นที่ศึกษานำร่องทั้ง 11 พื้นที่ แสดงได้ดังรูปที่ 8.1-1 ถึง 8.1-11 ในขณะที่ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่จะนำมาวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 8.1-2

ตารางที่ 8.1-2 สรุป ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงสมการการไหลสูงสุด

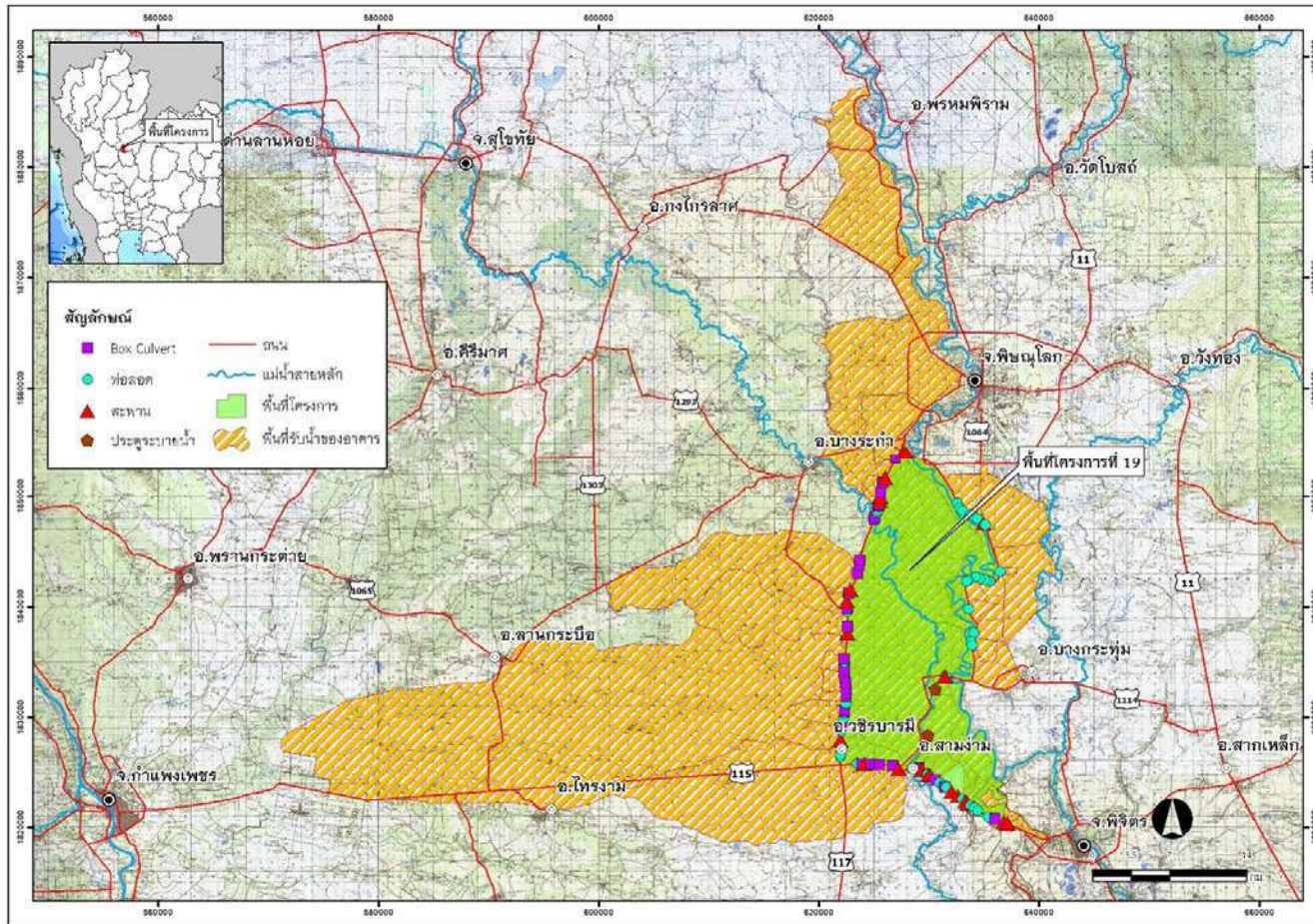
ตัวแปรอิสระ		ตัวแปรตาม	
ชนิดตัวแปร	หน่วย	ชนิดตัวแปร	หน่วย
1. อัตราการไหลสูงสุด	ลูกบาศก์เมตร/ วินาที	1. ความลาดชัน (Slope) 2. ปริมาณฝนตกในวันที่พิจารณา (RainfallToday) 3. ฝนสะสมก่อนหน้า 10 วัน (RainfallACC10day) 4. ขนาดพื้นที่รับน้ำ (CatchmentArea) 5. พื้นที่เกษตร 6. พื้นที่ป่า 7. พื้นที่ลุ่ม 8. พื้นที่อยู่อาศัย 9. พื้นที่แหล่งน้ำ 10. พื้นที่ชนิดดินลุ่ม 11. พื้นที่ชนิดดินดอน	- มม. มม. ตารางกิโลเมตร ตารางกิโลเมตร ตารางกิโลเมตร ตารางกิโลเมตร ตารางกิโลเมตร ตารางกิโลเมตร ตารางกิโลเมตร



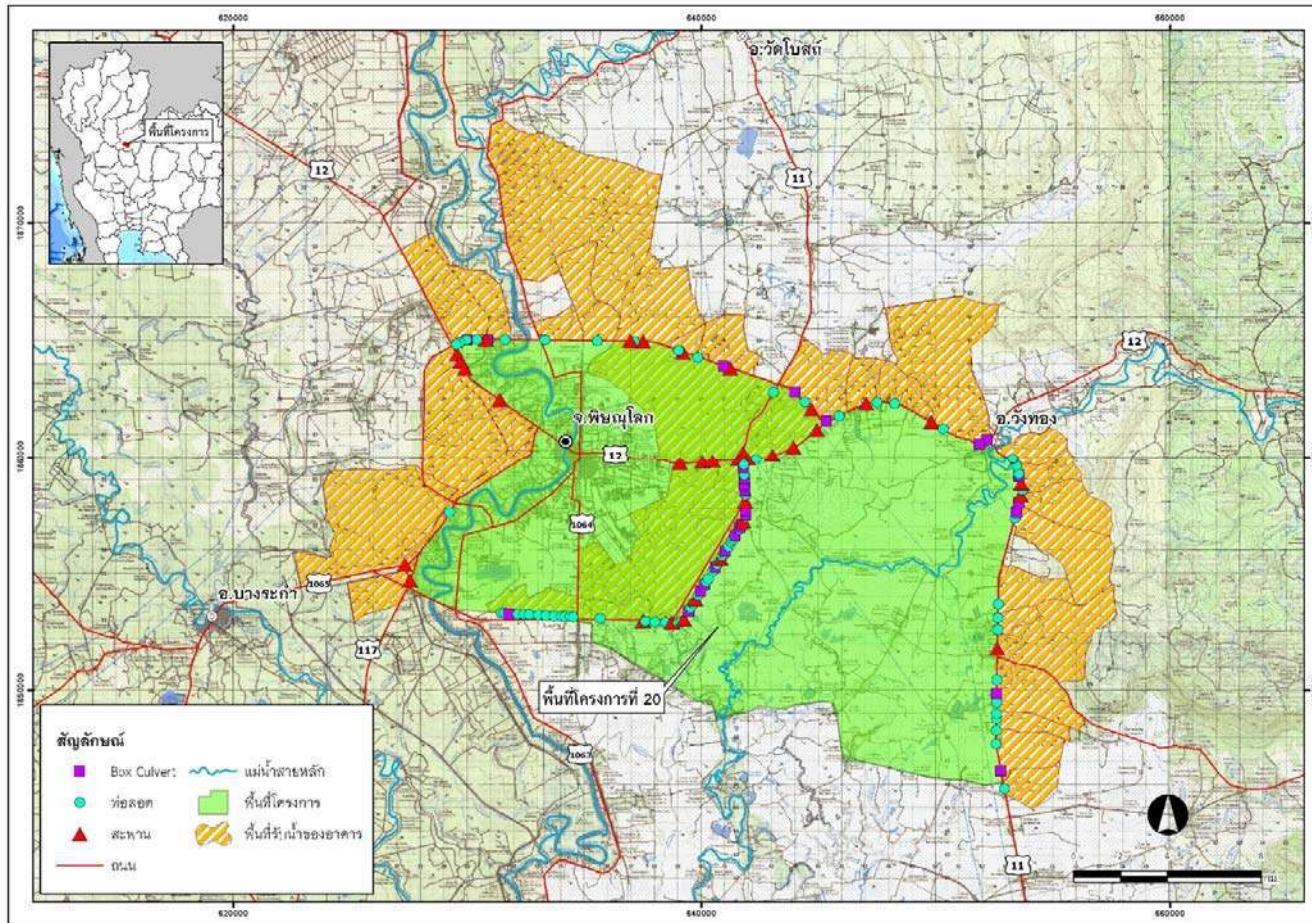
รูปที่ 8.1-1 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6



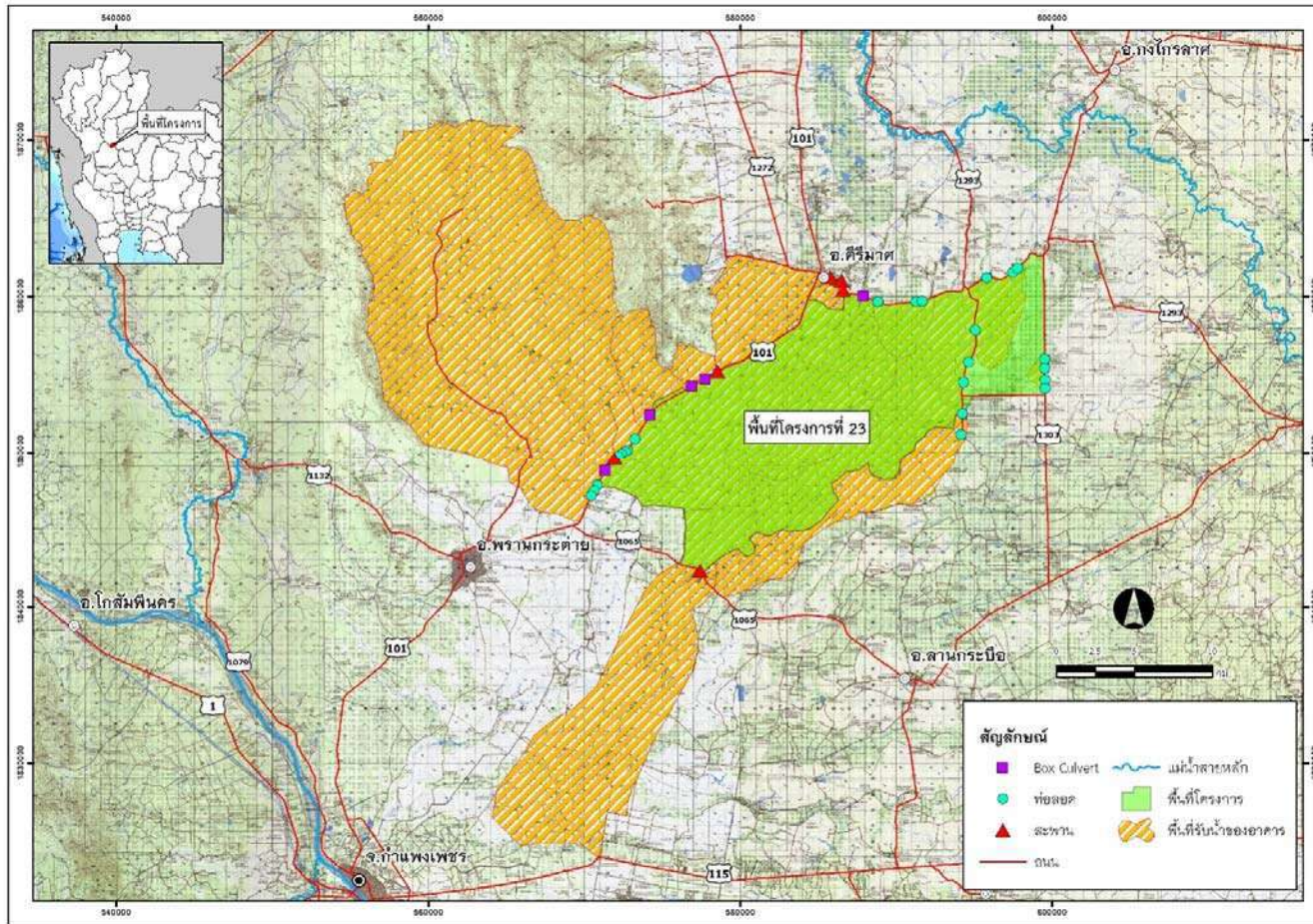
รูปที่ 8.1-2 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7



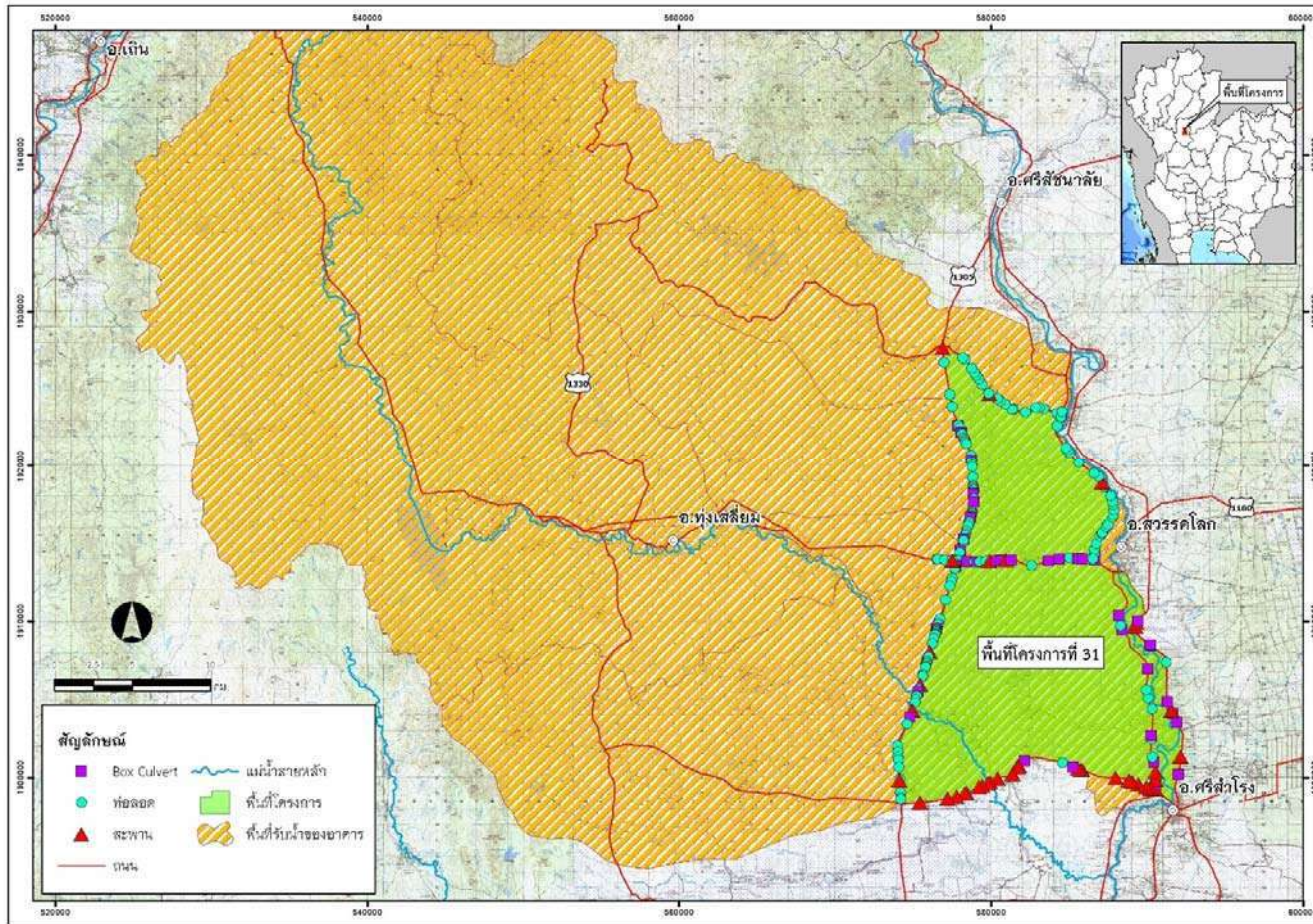
รูปที่ 8.1-3 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19



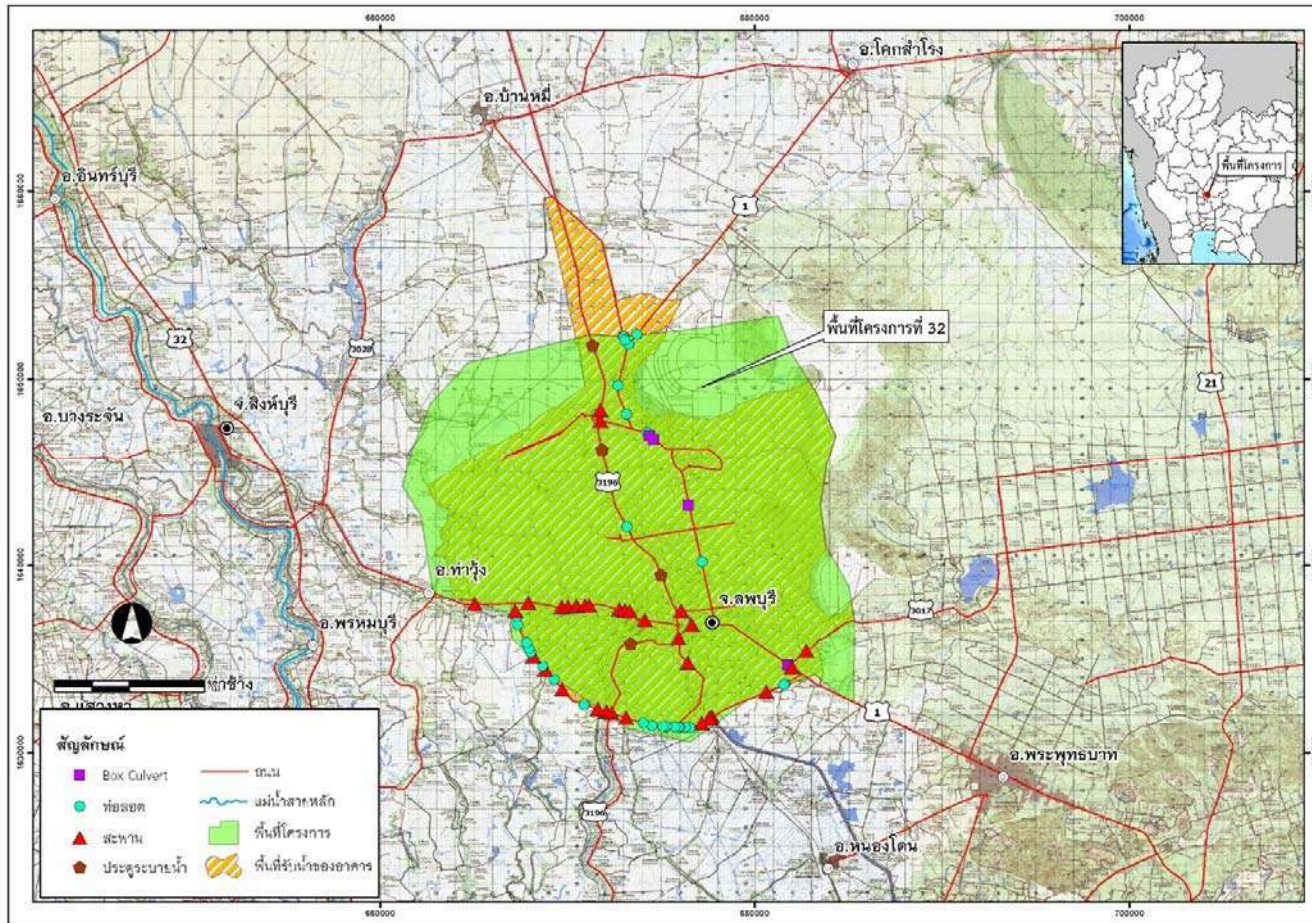
รูปที่ 8.1-4 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20



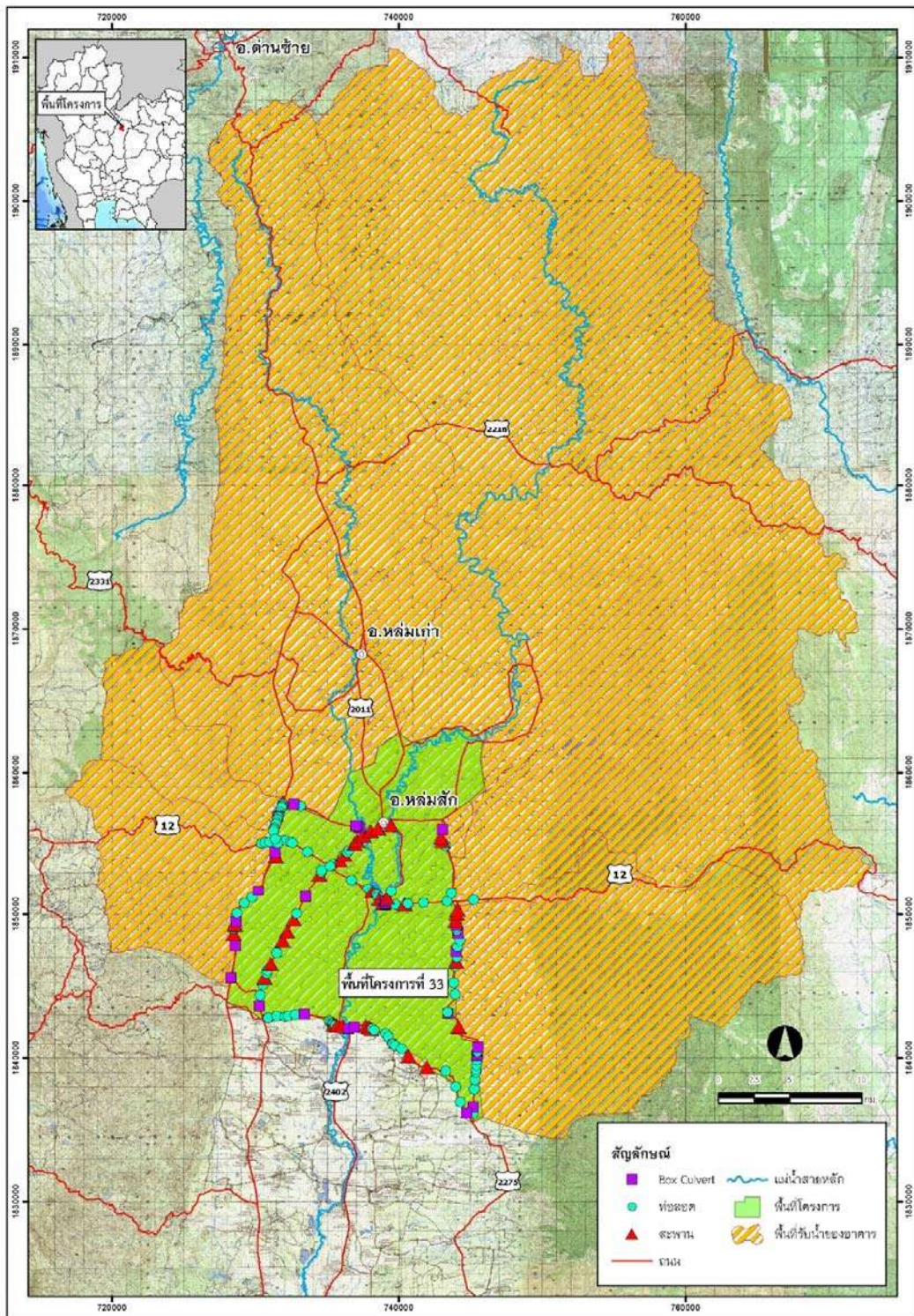
รูปที่ 8.1-5 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23



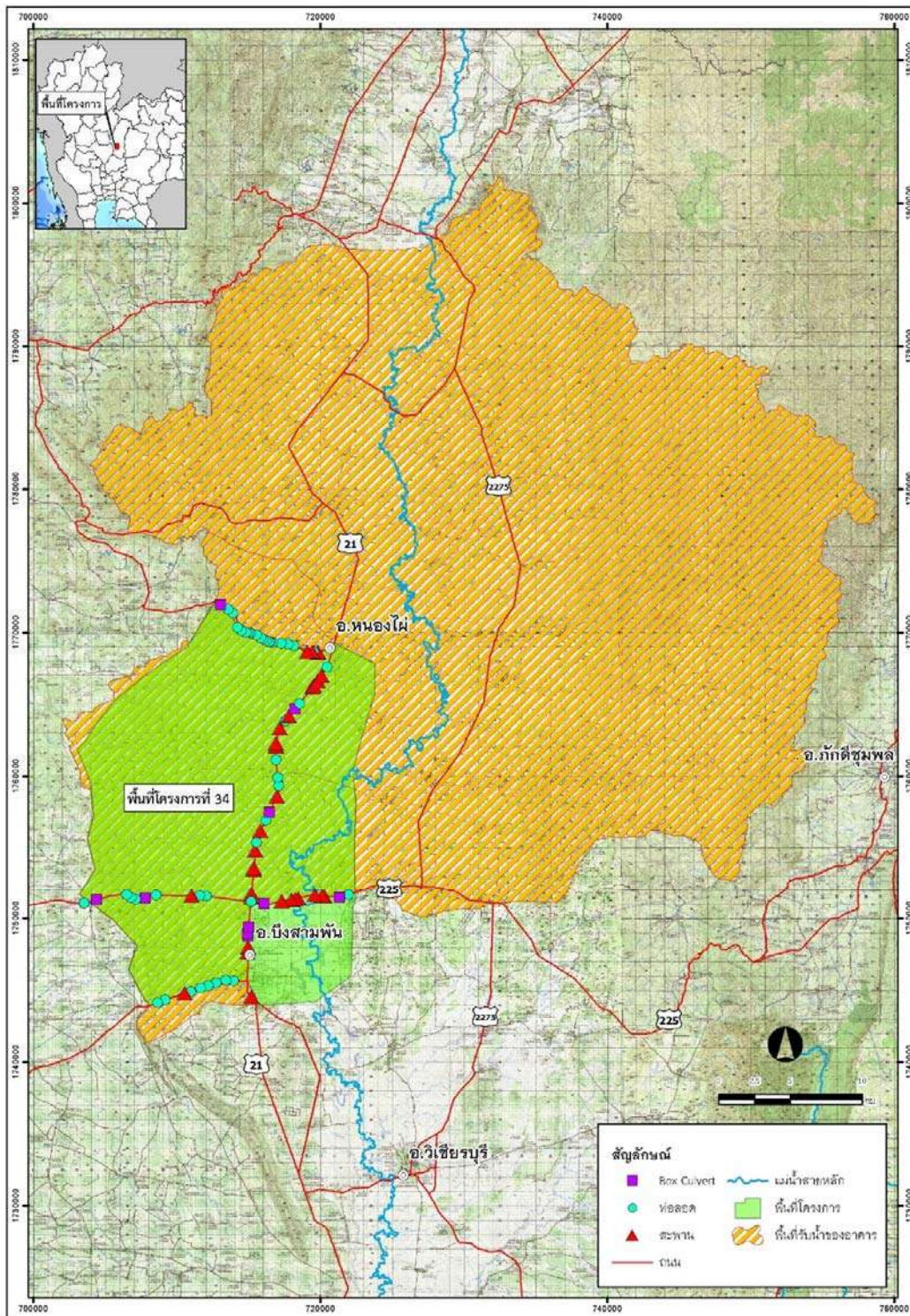
รูปที่ 8.1-6 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31



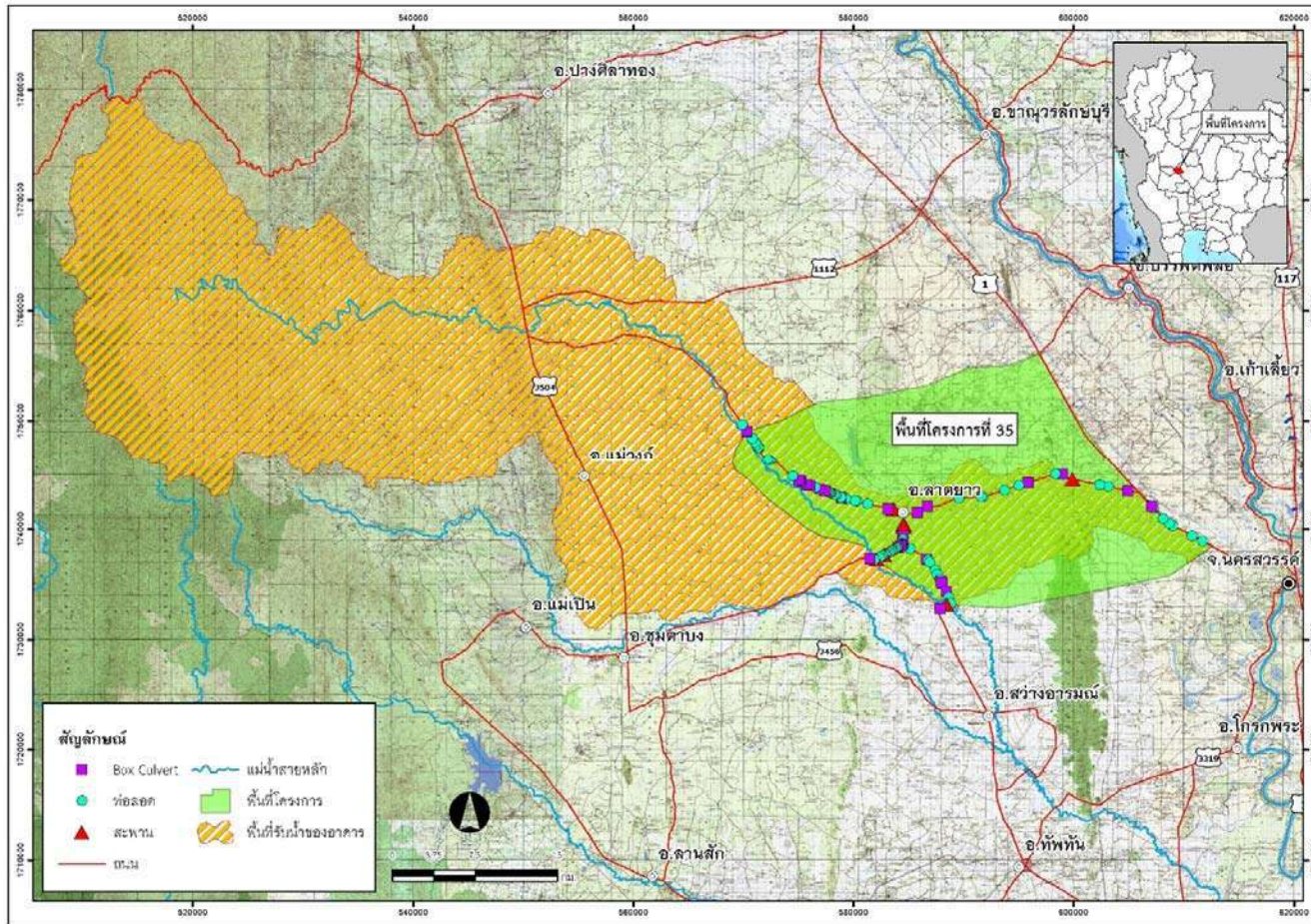
รูปที่ 8.1-7 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32



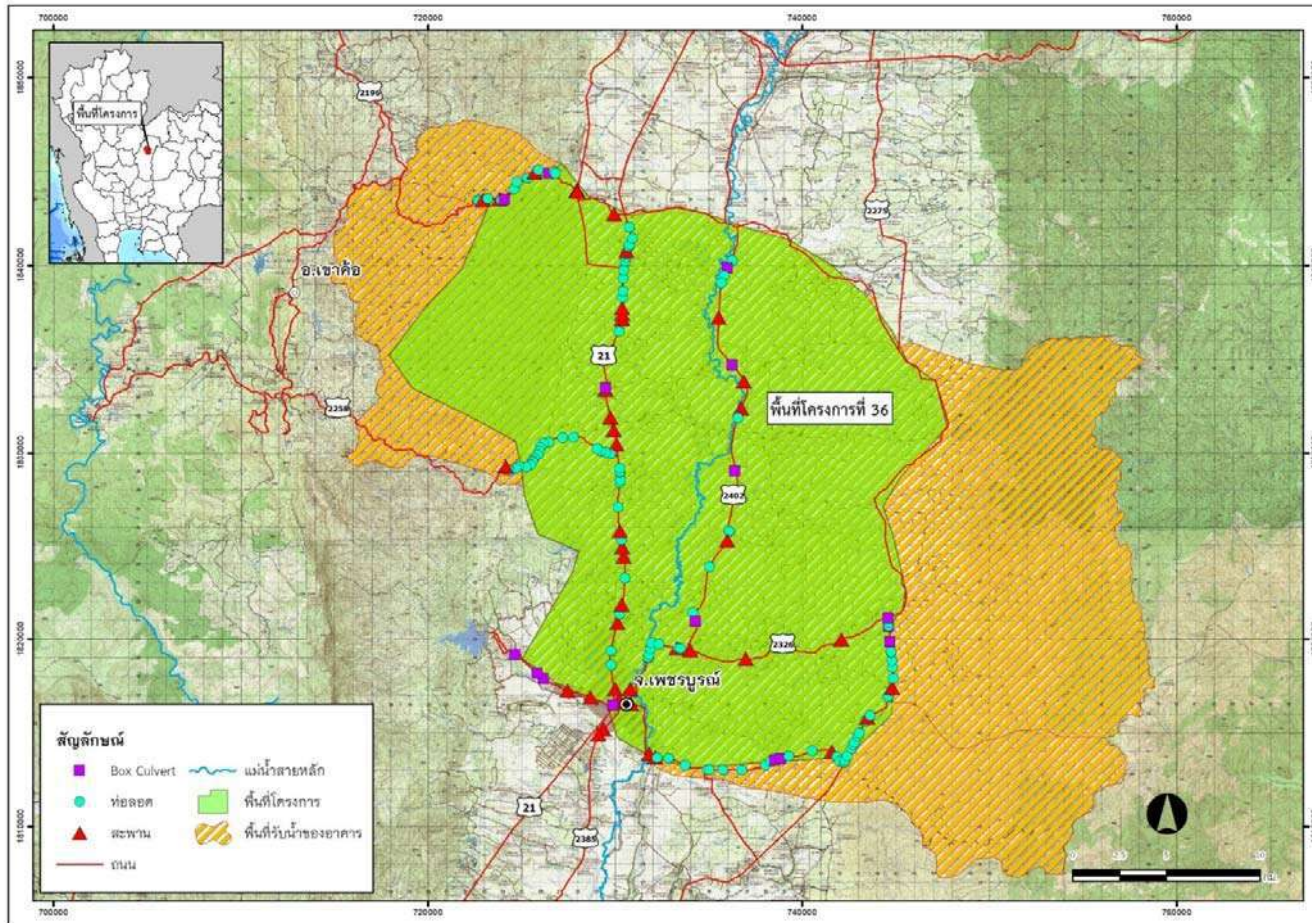
รูปที่ 8.1-8 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33



รูปที่ 8.1-9 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34



รูปที่ 8.1-10 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35



รูปที่ 8.1-11 การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36



ภายหลังจากทราบอัตราการไหลสูงสุดและข้อมูลทางด้านกายภาพของอาคารระบายน้ำแต่ละแห่ง ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 8.1-3 แล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรมทางสถิติ ซึ่งในการศึกษาได้เลือกใช้โปรแกรม SPSS มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งขั้นตอนในการวิเคราะห์ มีดังนี้

- 1) ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามด้วยวิธี Correlation ดังแสดงในรูปที่ 8.1-12 ซึ่งพบว่าตัวแปรโดยส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับอัตราการไหลสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 8.1-13 โดยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Correlation นั้น จะพิจารณาจาก ค่า Pearson Correlation ซึ่งหากค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียง 1 หรือ -1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับมาก โดยที่ถ้ามีค่าเป็นบวกหมายถึงมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และมีค่าเป็นลบคือมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม

ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ตัวแปรโดยส่วนใหญ่ มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลสูงสุด (Floodcms) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ยกเว้น ค่าความลาดชัน (Slope) และปริมาณฝนสะสมล่วงหน้า 10 วัน (RainfallAcc10day) ไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลสูงสุด ดังนั้นในการวิเคราะห์ขั้นต่อไปจึงไม่นำตัวแปรดังกล่าว มาพิจารณาในการสร้างสมการความสัมพันธ์

Correlations												
		Floodcms	Slope	RainfallToday	RainfallAcc10day	CatchmentArea	พื้นที่เกษตร	พื้นที่ป่า	พื้นที่ชุมชน	พื้นที่อยู่อาศัย	แหล่งน้ำ	คันดิน
Floodcms	Pearson Correlation	1	-.030	.117	-.013	.872	.843	.732	.742	.825	.733	.783
	Sig. (2-tailed)		.277	.020	.634	.000	.020	.200	.000	.000	.020	.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
Slope	Pearson Correlation	-.030	1	.340	-.812	.003	.016	-.263	-.003	.097	.018	-.219
	Sig. (2-tailed)	.277		.020	.000	9.3	.588	.221	9.9	.000	.310	.278
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
Rainfall Today	Pearson Correlation	.117	.340	1	-.112	.034	.025	-.211	.035	.225	.046	.558
	Sig. (2-tailed)	.200	.000		.000	2.8	.213	.594	.202	.000	.054	.235
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
Rainfall Acc10day	Pearson Correlation	.013	.188	.112	1	.029	.031	.220	.016	.008	.029	.236
	Sig. (2-tailed)	.574	.000	.020		.298	.258	.465	.553	.783	.259	.196
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
Catchment Area	Pearson Correlation	.872	.003	.074	.075	1	.941	.734	.977	.947	.977	.948
	Sig. (2-tailed)	.000	9.3	.718	.341		.020	.200	.000	.000	.020	.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
พื้นที่เกษตร	Pearson Correlation	-.423	.016	.075	.071	.991	1	.854	.944	.942	.946	.977
	Sig. (2-tailed)	.200	.563	.113	.341	.000		.200	.000	.000	.020	.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
พื้นที่ป่า	Pearson Correlation	.732	-.063	-.011	.010	.732	.654	1	.491	.623	.512	.516
	Sig. (2-tailed)	.200	.024	.654	.465	.000	.020		.000	.000	.020	.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
พื้นที่ชุมชน	Pearson Correlation	.742	-.003	.025	.010	.923	.944	.491	1	.893	.929	.966
	Sig. (2-tailed)	.200	.919	.202	.553	.000	.020	.200		.000	.020	.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
พื้นที่อยู่อาศัย	Pearson Correlation	.825	.097	.128	.002	.942	.946	.223	.893	1	.820	.927
	Sig. (2-tailed)	.200	.000	.783	.000	.000	.020	.200	.000		.020	.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
แหล่งน้ำ	Pearson Correlation	.733	.028	.046	.025	.923	.946	.512	.959	.893	1	.972
	Sig. (2-tailed)	.200	.310	.054	.255	.000	.020	.200	.000	.000		.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
คันดิน	Pearson Correlation	.783	.049	.058	.031	.948	.972	.516	.966	.927	.972	1
	Sig. (2-tailed)	.200	.078	.075	.341	.000	.020	.200	.000	.000	.020	
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302
คันดิน	Pearson Correlation	.564	-.037	.029	.020	.960	.975	.854	.944	.942	.946	.977
	Sig. (2-tailed)	.200	.341	.717	.461	.000	.020	.200	.000	.000	.020	.200
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302

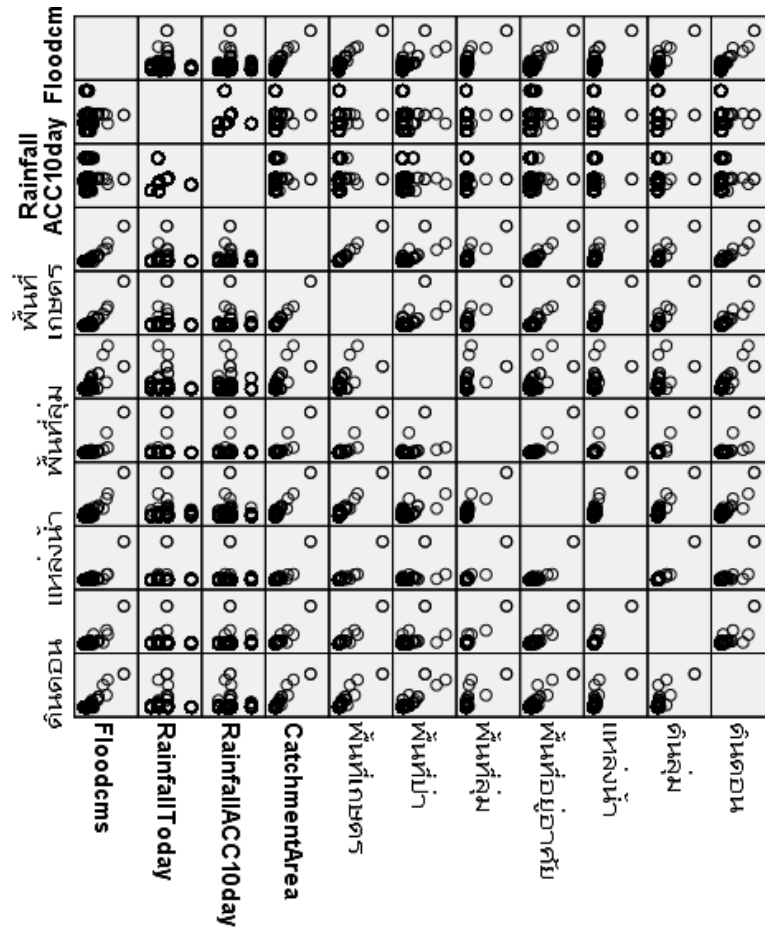
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

รูปที่ 8.1-12 การวิเคราะห์ Correlation ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม



ตารางที่ 8.1-3 ตัวอย่างการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านสถิติ

ตำแหน่ง อาคาร ระบายน้ำ	ตัวแปรตาม	ตัวแปรอิสระ										
	อัตราการ สูงสุด (ลบ.ม/วิ)	ความลาด ชัน	ปริมาณฝน ตกในวันที่ พิจารณา (มม.)	ฝนสะสม ก่อนหน้า 10 วัน (มม.)	ขนาดพื้นที่ รับน้ำ (ตาราง กิโลเมตร)	พื้นที่เกษตร (ตาราง กิโลเมตร)	พื้นที่ป่าไม้ (ตาราง กิโลเมตร)	พื้นที่ลุ่ม (ตาราง กิโลเมตร)	พื้นที่อยู่ อาศัย (ตาราง กิโลเมตร)	พื้นที่แหล่ง น้ำ (ตาราง กิโลเมตร)	พื้นที่ดินที่ ลุ่ม (ตาราง กิโลเมตร)	พื้นที่ดินที่ ดอน (ตาราง กิโลเมตร)
1	29.50	237.40	21.5	105.3	35.680	13.401	2.596	4.908	14.527	0.248	7.433	28.247
2	2.19	153.91	21.5	105.3	0.331	0.000	0.000	0.000	0.003	0.328	0.331	0.000
3	357.12	839.89	21.5	105.3	3187.427	2465.951	253.340	226.935	137.696	103.505	1687.135	1500.292
4	357.12	839.89	21.5	105.3	3187.427	2465.951	253.340	226.935	137.696	103.505	1687.135	1500.292
5	4.89	496.20	21.5	105.3	1.401	0.789	0.000	0.518	0.093	0.002	1.359	0.041
6	2.37	209.42	21.5	105.3	0.381	0.306	0.000	0.000	0.073	0.002	0.238	0.143
8	5.07	191.54	21.5	105.3	1.497	0.253	0.000	1.168	0.050	0.026	1.028	0.469
9	3.10	631.75	21.5	105.3	0.617	0.213	0.000	0.282	0.122	0.000	0.569	0.048
10	8.45	2200.50	21.5	105.3	3.754	0.002	0.000	3.615	0.092	0.045	3.663	0.092
11	202.52	1520.52	21.5	105.3	1147.240	891.194	74.336	111.946	55.276	14.488	598.353	548.888
12	5.92	1559.36	21.5	105.3	1.975	0.055	0.000	1.653	0.258	0.009	1.892	0.082
13	2.33	271.27	21.5	105.3	0.368	0.000	0.000	0.271	0.096	0.000	0.317	0.051



รูปที่ 8.1-13 การวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นของแต่ละตัวแปร

- 2) นำตัวแปรที่ผ่านการทดสอบ Correlation มาประเมินสมการความสัมพันธ์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 8.1-14 ซึ่งผลการคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS พบว่า ตัวแปรที่มีความเหมาะสม และสามารถนำมาสร้างสมการอัตราการไหลสูงสุด ประกอบด้วย ปริมาณฝนตกในวันที่ยูนิเวอร์ซิตี (RainfallToday) ขนาดพื้นที่รับน้ำ (CatchmentArea) พื้นที่ป่า พื้นที่อยู่อาศัย พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ชนิดดินลุ่ม และพื้นที่ชนิดดินดอน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ R Square เท่ากับ 0.820 หมายถึง สมการนี้สามารถคำนวณอัตราการไหลสูงสุดได้ร้อยละ 82 หรือมีความแม่นยำของตัวแปรหรือสมการนี้เท่ากับร้อยละ 82 ดังแสดงในรูปที่ 8.1-15



Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
1 (Constant)	10.327	.503		20.533	.000					
RainfallToday	.168	.027	.078	6.278	.000	.117	.172	.074	.903	1.108
CatchmentArea	.355	.027	2.449	13.254	.000	.872	.346	.156	.004	245.494
พื้นที่ป่า	.205	.031	.238	6.617	.000	.732	.181	.078	.107	9.320
พื้นที่อยู่อาศัย	.358	.130	.112	2.755	.006	.825	.076	.032	.085	11.817
แหล่งน้ำ	-2.943	.259	-.581	-11.348	.000	.733	-.301	-.134	.053	18.849
ดินลุ่ม	-.106	.033	-.357	-3.233	.001	.783	-.090	-.038	.011	87.552
ดินดอน	-.267	.031	-1.024	-8.510	.000	.864	-.230	-.100	.010	104.224

a. Dependent Variable: Floodcms

รูปที่ 8.1-14 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการปรับปรุงอัตราการไหลด้วยวิธีถดถอยแบบพหุคูณ



Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.906 ^a	.820	.819	8.952468197755790	.515

a. Predictors: (Constant), ดินดอน, RainfallToday, แหล่งน้ำ, พื้นที่ป่า, พื้นที่อยู่อาศัย, ดินลุ่ม, CatchmentArea

b. Dependent Variable: Floodcms

รูปที่ 8.1-15 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ R Square ของสมการการพยากรณ์อัตราการไหลสูงสุด

สำหรับสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด ที่ปรับปรุงขึ้น สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q_{peak} = 10.327 + 0.168\text{Rain} + 0.355\text{Area} + 0.205\text{For} + 0.358\text{Res} - 2.943\text{Wat} - 0.106\text{LowL} - 0.267\text{HigL} \quad (1)$$

โดยที่	Qpeak	คือ	อัตราการไหลสูงสุด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
	Rain	คือ	ปริมาณฝนที่ตก (มิลลิเมตร)
	Area	คือ	ขนาดพื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร)
	For	คือ	พื้นที่ป่าไม้ (ตารางกิโลเมตร)
	Res	คือ	พื้นที่ที่อยู่อาศัย (ตารางกิโลเมตร)
	Wat	คือ	พื้นที่แหล่งน้ำ (ตารางกิโลเมตร)
	LowL	คือ	พื้นที่กลุ่มดินพื้นที่ลุ่ม (ตารางกิโลเมตร)
	HigL	คือ	พื้นที่กลุ่มดินพื้นที่ดอน (ตารางกิโลเมตร)

ทั้งนี้ความหมายของสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ตัวแปรอิสระ และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรดังที่แสดงข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

- ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ Rain เท่ากับ 0.168 นั่นคือ ถ้า Rain เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Qpeak เพิ่มขึ้น 0.168 หน่วย
- ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ Area เท่ากับ 0.355 นั่นคือ ถ้าพื้นที่รับน้ำ เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Qpeak เพิ่มขึ้น 0.355 หน่วย
- ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ For เท่ากับ 0.205 นั่นคือ ถ้าพื้นที่ป่าไม้ เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Qpeak เพิ่มขึ้น 0.205 หน่วย



- ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ Res เท่ากับ 0.358 นั่นคือ ถ้าพื้นที่ที่อยู่อาศัย เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Qpeak เพิ่มขึ้น 0.358 หน่วย
 - ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ Wat เท่ากับ -2.943 นั่นคือ ถ้าพื้นที่แหล่งน้ำ เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Qpeak ลดลง 2.943 หน่วย
 - ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ LowL เท่ากับ -0.106 นั่นคือ ถ้าพื้นที่กลุ่มดินลุ่ม เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Qpeak ลดลง 0.106 หน่วย
 - ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ HigL เท่ากับ -0.267 นั่นคือ ถ้าพื้นที่กลุ่มดินดอน เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Qpeak ลดลง 0.267 หน่วย
- 3) ทำการตรวจสอบค่า Variance Inflation Factor (VIF ซึ่งหากค่านี้มีค่าสูง หมายถึงว่าอาจเกิดสภาวะปัญหา Multicollinearity หรือสภาวะที่ เกิดสภาพสหสัมพันธ์ (Correlation) กันเองระหว่างตัวแปรอิสระในระดับค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลให้ตัวสมการขาดความน่าเชื่อถือได้จาก ดังนั้นรูปที่ 8.1-14 จะเห็นว่าตัวแปรพื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) พื้นที่กลุ่มดินพื้นที่ลุ่ม และพื้นที่กลุ่มดินที่ดอน มีค่า VIF สูง จึงจะทำการทดลองตัวตัวแปรเหล่านี้ออกแล้วจึงพิจารณารูปแบบของสมการความสัมพันธ์ใหม่อีกครั้ง
- 4) ทำการสร้างสมการสหสัมพันธ์ใหม่ โดยใช้ตัวแปรอิสระซึ่งประกอบด้วย ปริมาณฝนที่ตก พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ที่อยู่อาศัย โดยผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.1-16 และรูปที่ 8.1-17 ตามลำดับจากรูปที่ 8.1-17 จะเห็นได้ว่า ค่า VIF น้อยกว่า 10 ซึ่งไม่ทำให้เกิดปัญหา Multicollinearity ขึ้น

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.873 ^a	.762	.761	10.286908662867411	.511

a. Predictors: (Constant), แหล่งน้ำ, RainfallToday, พื้นที่ป่า, พื้นที่อยู่อาศัย

b. Dependent Variable: Floodcms

รูปที่ 8.1-16 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ R Square ของสมการการพยากรณ์อัตราการไหลสูงสุดกรณีปรับค่า VIF



Coefficients^a

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics		
	B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF	
1	(Constant)	11.405	.574	19.882	.000						
	RainfallToday	.111	.030	.051	3.686	.000	.117	.102	.050	.943	1.060
	พื้นที่ป่า	.319	.015	.371	21.049	.000	.732	.505	.285	.591	1.691
	พื้นที่อยู่อาศัย	1.634	.108	.509	15.063	.000	.825	.386	.204	.161	6.228
	แหล่งน้ำ	.443	.154	.088	2.880	.004	.733	.080	.039	.199	5.028

a. Dependent Variable: Floodcms

รูปที่ 8.1-17 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการการปรับปรุงอัตราการไหลด้วยวิธีถดถอยแบบพหุคูณ กรณีปรับค่า VIF



จากการดำเนินงานข้างต้น ทำให้การคำนวณสมการอัตราการไหลสูงสุด เหลือตัวแปรอิสระ 4 ตัว คือ ปริมาณฝนตกในวันที่พิจารณา (Rainfall(Today)) พื้นที่ป่า พื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่แหล่งน้ำ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือ R Square เท่ากับ 0.76 หมายถึง สมการนี้สามารถคำนวณอัตราการไหลสูงสุดได้ร้อยละ 76 หรือมีความแม่นยำของตัวแบบหรือสมการนี้เท่ากับร้อยละ 76

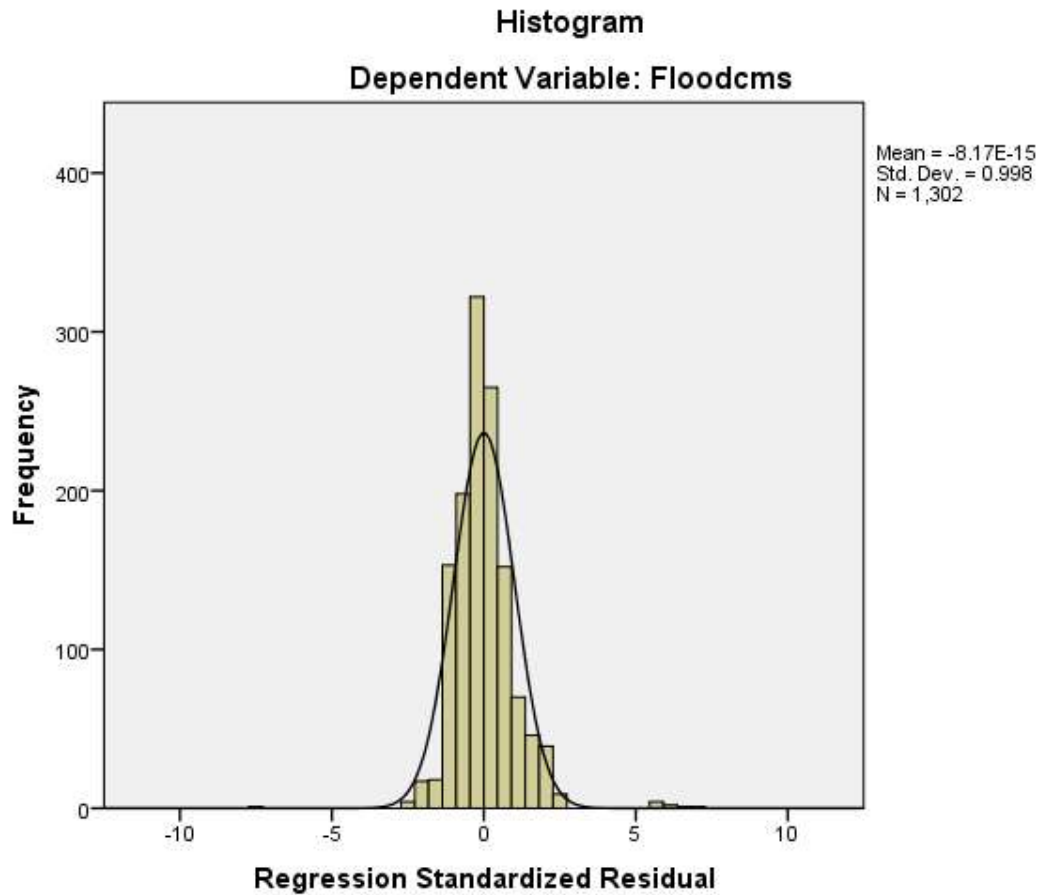
สำหรับสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด ที่ปรับปรุงขึ้นและปรับแก้ค่า VIF แล้ว สามารถแสดงได้ดังนี้

$$Q_{\text{peak}} = 11.405 + 0.111\text{Rain} + 0.319\text{For} + 1.634\text{Res} + 0.433\text{Wat} \quad (2)$$

โดยที่	Q_{peak}	คือ	อัตราการไหลสูงสุด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
	Rain	คือ	ปริมาณฝนที่ตก (มิลลิเมตร)
	For	คือ	พื้นที่ป่าไม้ (ตารางกิโลเมตร)
	Res	คือ	พื้นที่ที่อยู่อาศัย (ตารางกิโลเมตร)
	Wat	คือ	พื้นที่แหล่งน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

ทั้งนี้ความหมายของสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ตัวแปรอิสระ และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรดังที่แสดงข้างต้นอธิบายได้ดังนี้

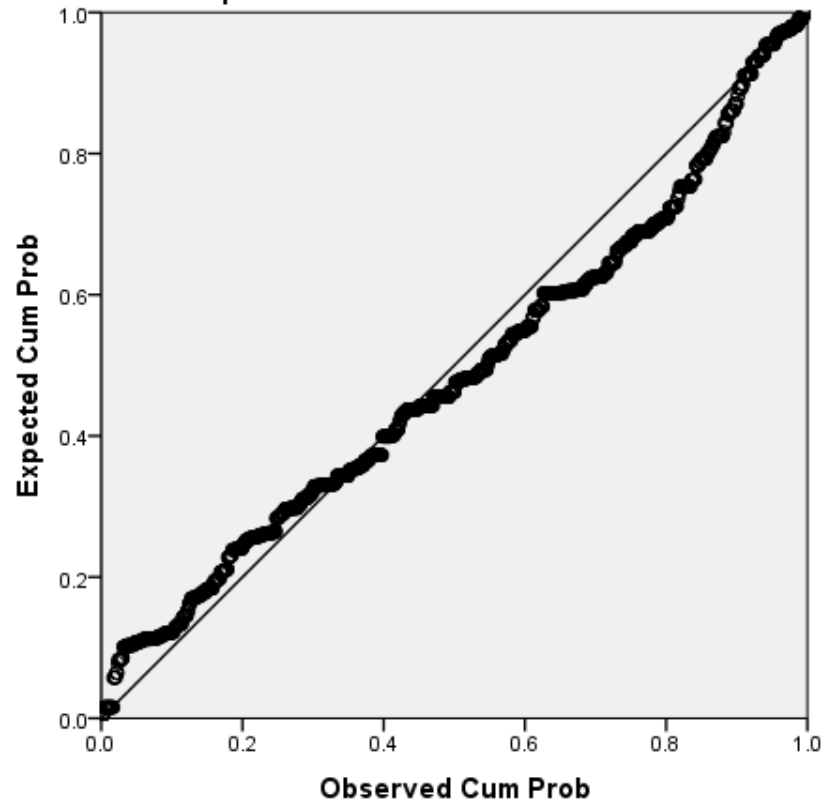
- ✓ ค่าคงที่เท่ากับ 11.405 ซึ่งความหมายทางสถิติหมายถึง Q_{peak} จะมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 11.405 หาก พารามิเตอร์อื่นๆ มีค่ากับศูนย์ หรือหากอธิบายตามหลักการทางด้านอุทกวิทยา ค่าคงที่นี้จะหมายถึงการไหลพื้นฐาน (Base Flow) ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ หรือการไหลในลำน้ำช่วงเวลาปกติที่ไม่เกิดพายุฝน
 - ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ For เท่ากับ 0.319 นั่นคือ ถ้าพื้นที่ป่าไม้ เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Q_{peak} เพิ่มขึ้น 0.319 หน่วย
 - ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ Res เท่ากับ 1.634 นั่นคือ ถ้าพื้นที่อยู่อาศัย เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Q_{peak} เพิ่มขึ้น 1.634 หน่วย
 - ✓ ค่าสัมประสิทธิ์ ของ Wat เท่ากับ 0.433 นั่นคือ ถ้าพื้นที่แหล่งน้ำ เพิ่มขึ้น 1 หน่วยจะทำให้ Q_{peak} ลดลง 0.433 หน่วย
- 5) ทำการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน หรือ ค่า Residual ของสมการที่ 2 ซึ่งพบว่า ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยการแจกแจงความถี่การกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนมีลักษณะเป็นการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 8.1-18 และเมื่อนำผลการคำนวณอัตราการไหลที่นำเสนอในสมการที่ 2 ไป เปรียบเทียบกับผลการคำนวณอัตราการไหลสูงจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ พบว่าให้ผลเป็นที่น่าพอใจ ดังแสดงในรูปที่ 8.1-9



รูปที่ 8.1-18 การแจกแจงความถี่ของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดตามสมการที่นำเสนอ

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

Dependent Variable: Floodcms



รูปที่ 8.1-19 การเปรียบเทียบ ผลการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดตามสมการที่นำเสนอ และการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

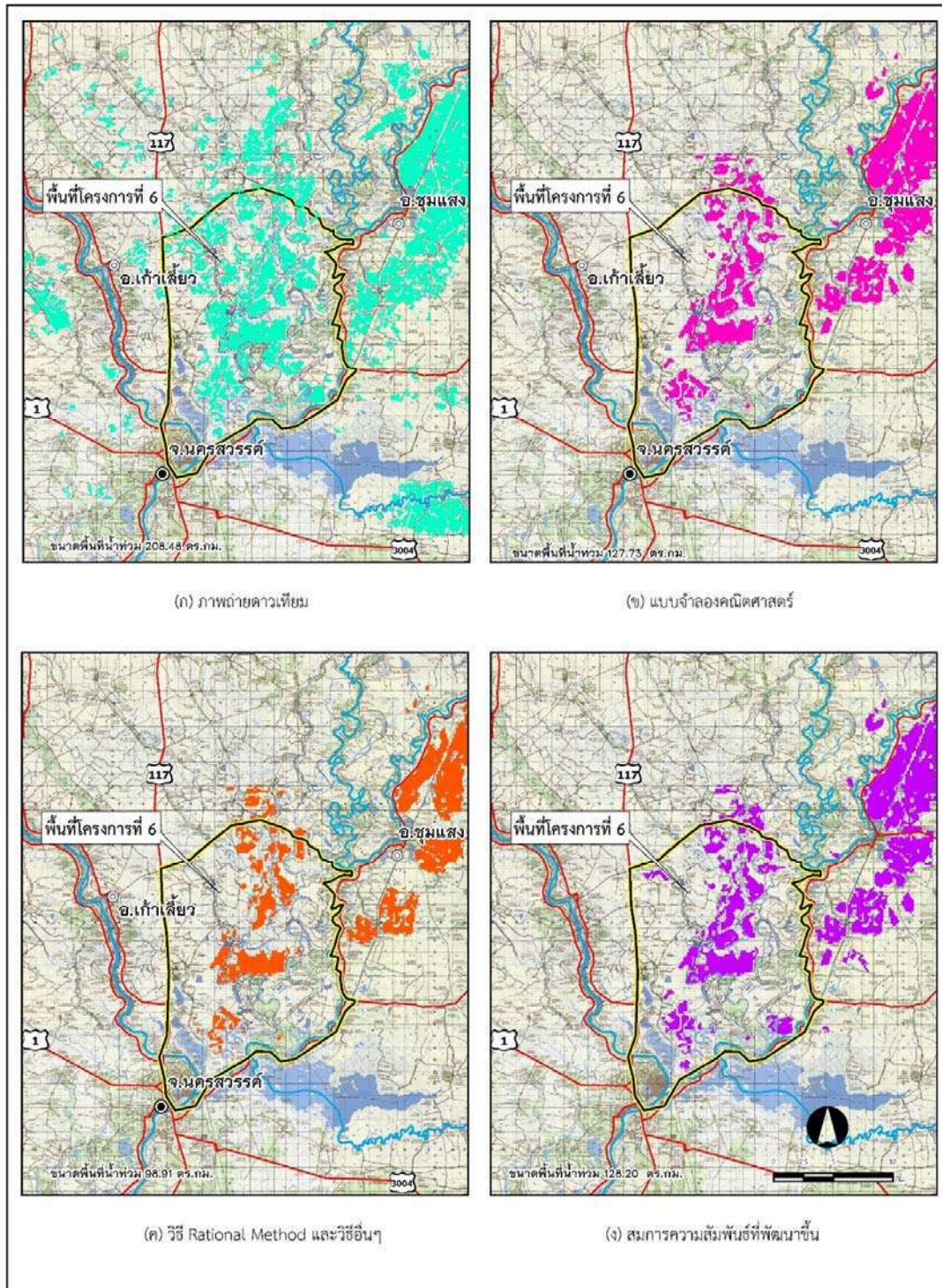


8.2. การเปรียบเทียบสมการการไหลสูงสุดของน้ำท่า

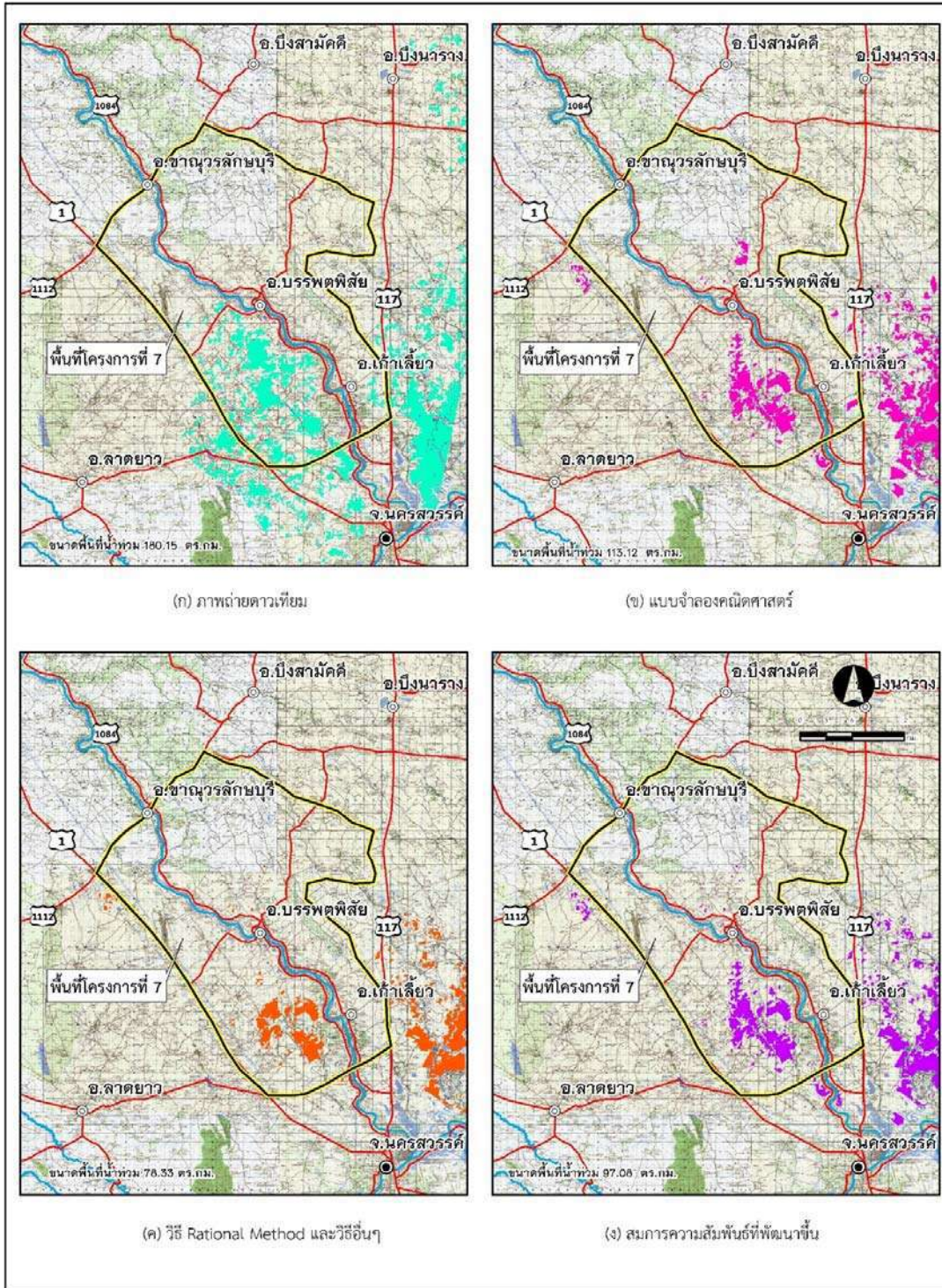
ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมการการไหลสูงสุดที่คำนวณขึ้น จะดำเนินการโดยนำอัตราการไหลสูงสุดที่ประเมินได้ตามแนวทางในข้อ 8.1 ไปหารอัตราการไหลสูงสุดจากแบบจำลองสำหรับเหตุการณ์น้ำท่วมที่พิจารณา ซึ่งผลที่ได้คืออัตราส่วนของอัตราการไหลสูงสุดที่ปรับปรุงต่ออัตราการไหลสูงสุดจากแบบจำลอง จากนั้นนำอัตราส่วนดังกล่าวไปคูณกับข้อมูลกราฟน้ำท่าทุก Coordinate ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือกราฟน้ำท่าที่มีอัตราการไหลสูงสุดตามแนวทางสมการที่ปรับปรุงขึ้นใหม่ จากนั้นจึงนำข้อมูลกราฟน้ำท่าที่ได้นำเข้าแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ขนาดพื้นที่น้ำท่วม

นอกจากจะนำอัตราการไหลสูงสุด ที่คำนวณได้ตามแนวทางการปรับปรุงที่นำเสนอใหม่มาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว ที่ปริกษายังได้นำผลการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธี Rational Method ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำในปัจจุบันมาพิจารณาด้วย โดยแนวทางการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์จะใช้หลักการเดียวกับอัตราการไหลสูงสุดตามผลการคำนวณด้วยสมการที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

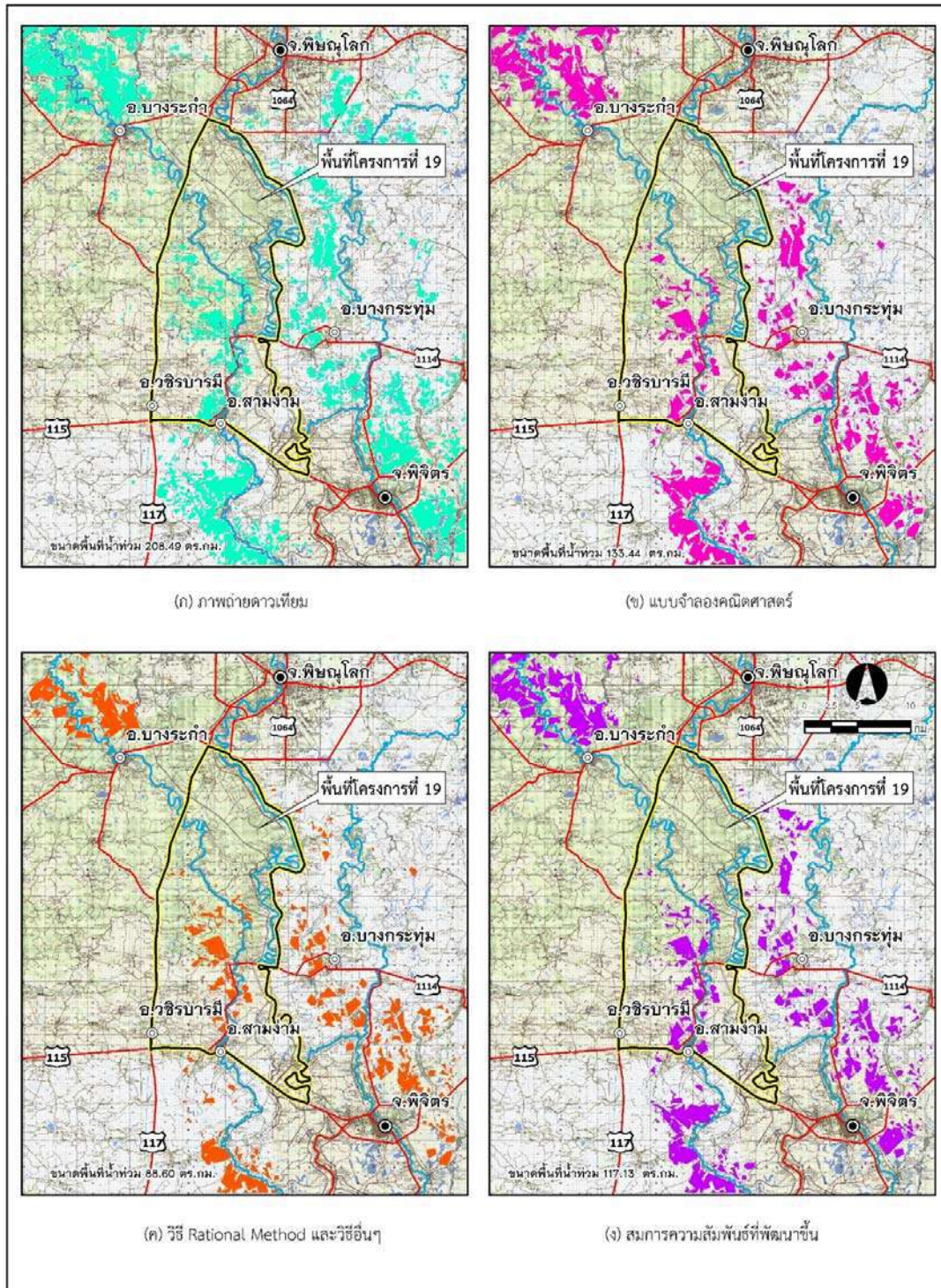
สำหรับผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงใหม่ วิธี Rational Method ตลอดจนการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ สามารถดำเนินการได้ โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ขนาดพื้นที่น้ำท่วมกับข้อมูลพื้นที่น้ำท่วมจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.2-1 ถึง 8.2-11 และตารางที่ 8.2-1 โดยจะเห็นได้ว่าขนาดพื้นที่น้ำท่วมที่เกิดขึ้นจากการคำนวณด้วยสมการที่ปรับปรุงขึ้นใหม่มีขนาดใกล้เคียงกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและผลจากการจำลองด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์มากกว่าวิธี Rational Method ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่พัฒนาขึ้น สามารถประเมินได้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากกว่าวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



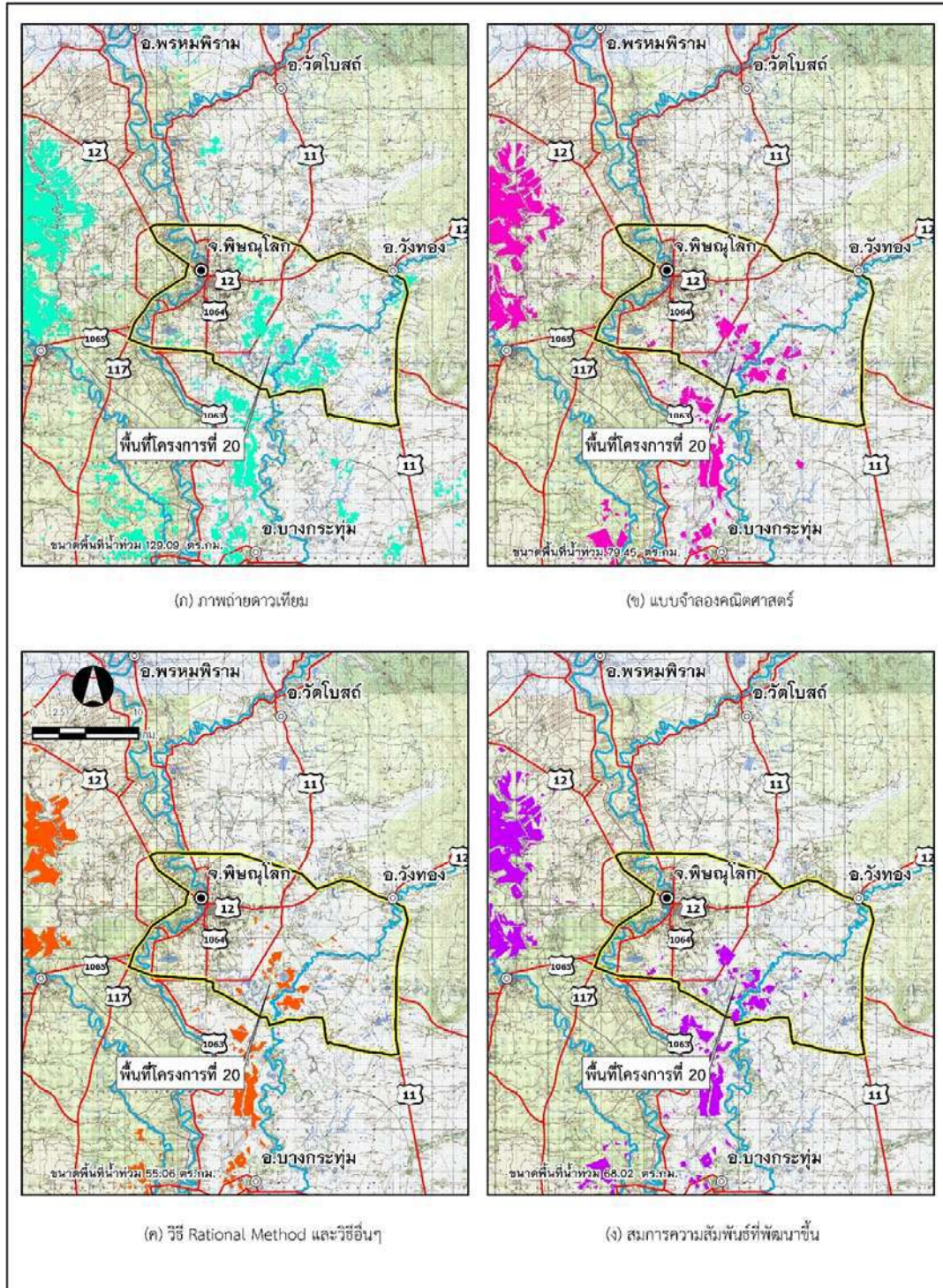
รูปที่ 8.2-1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6



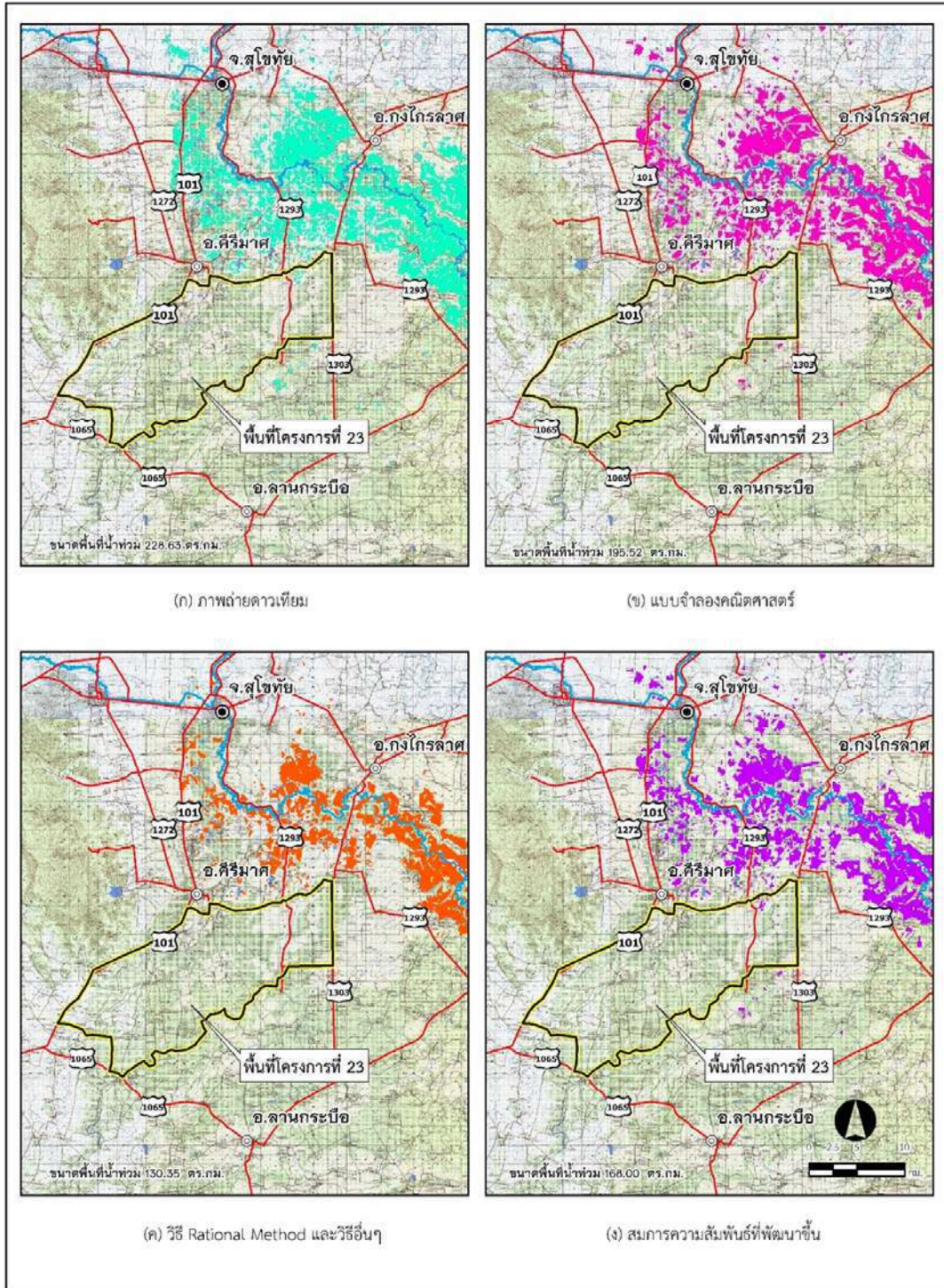
รูปที่ 8.2-2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7



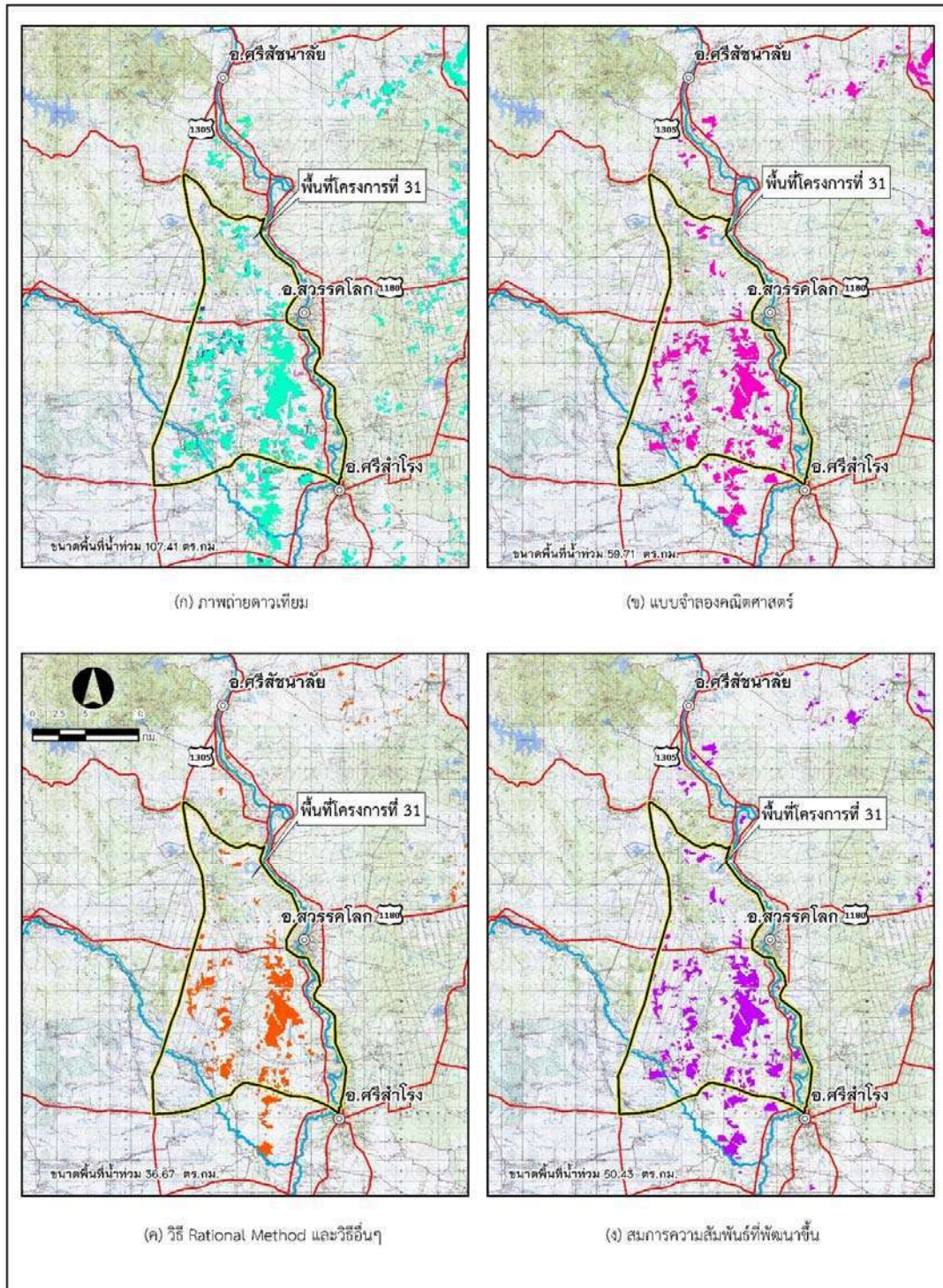
รูปที่ 8.2-3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19



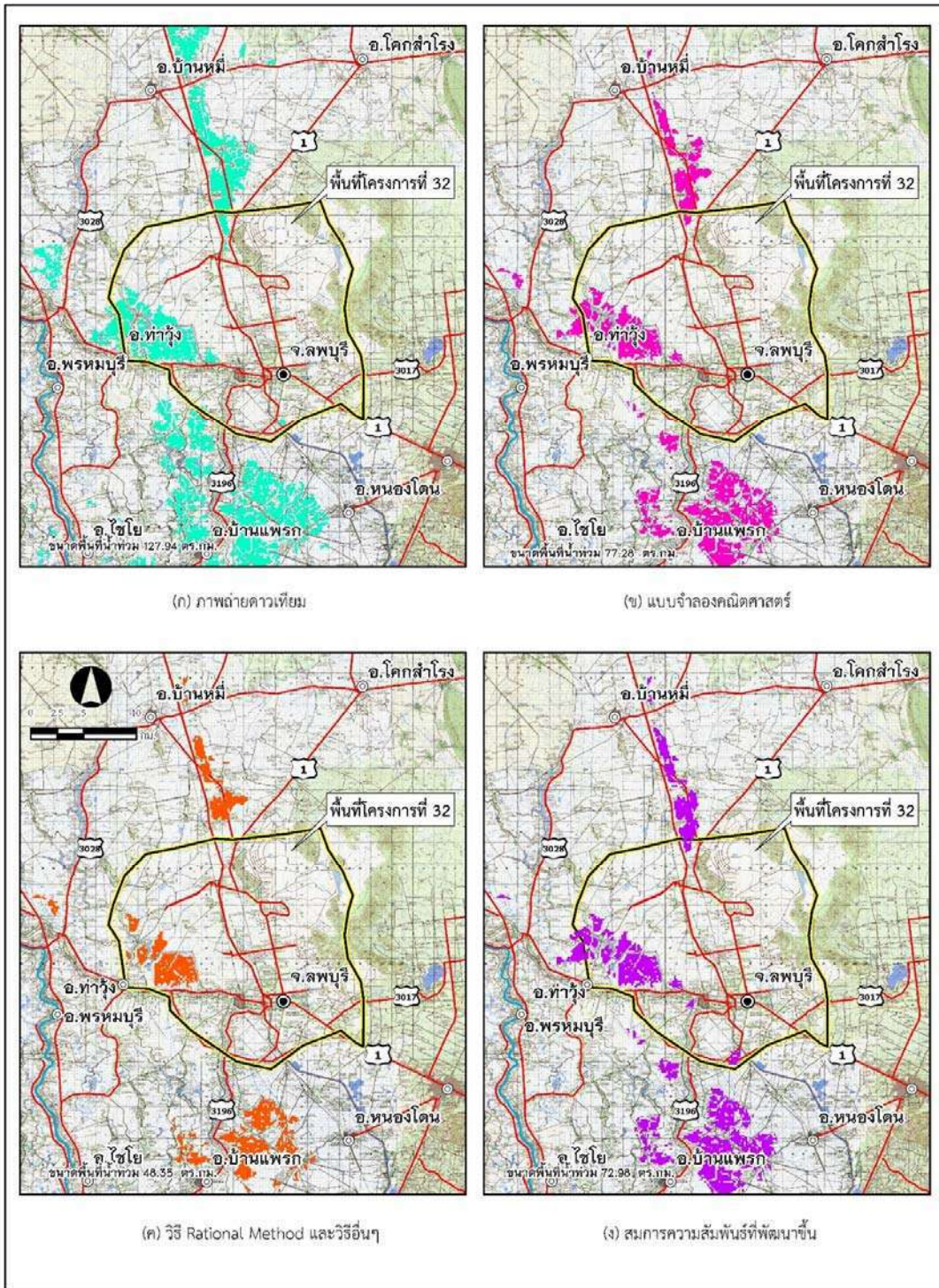
รูปที่ 8.2-4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20



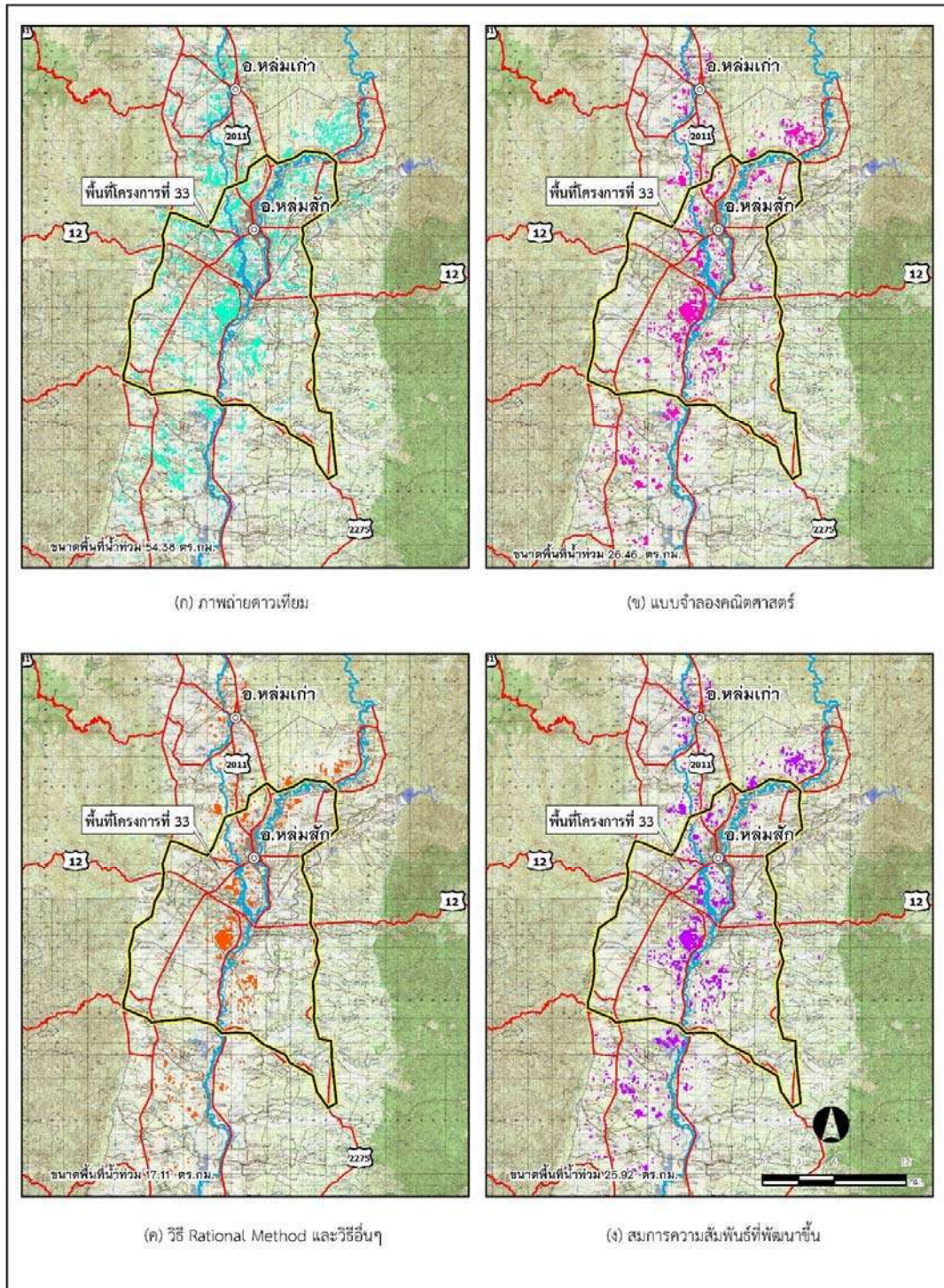
รูปที่ 8.2-5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23



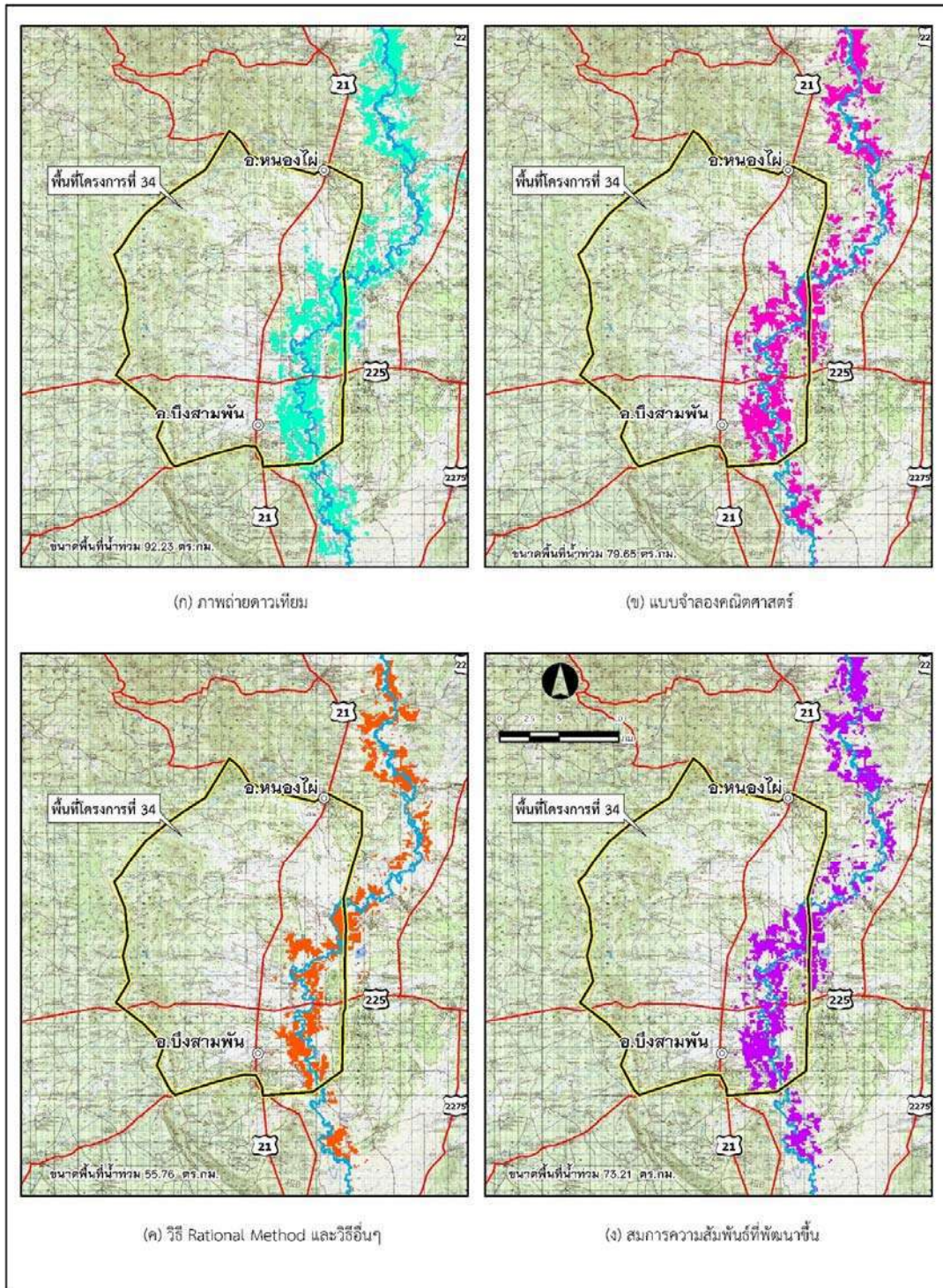
รูปที่ 8.2-6 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31



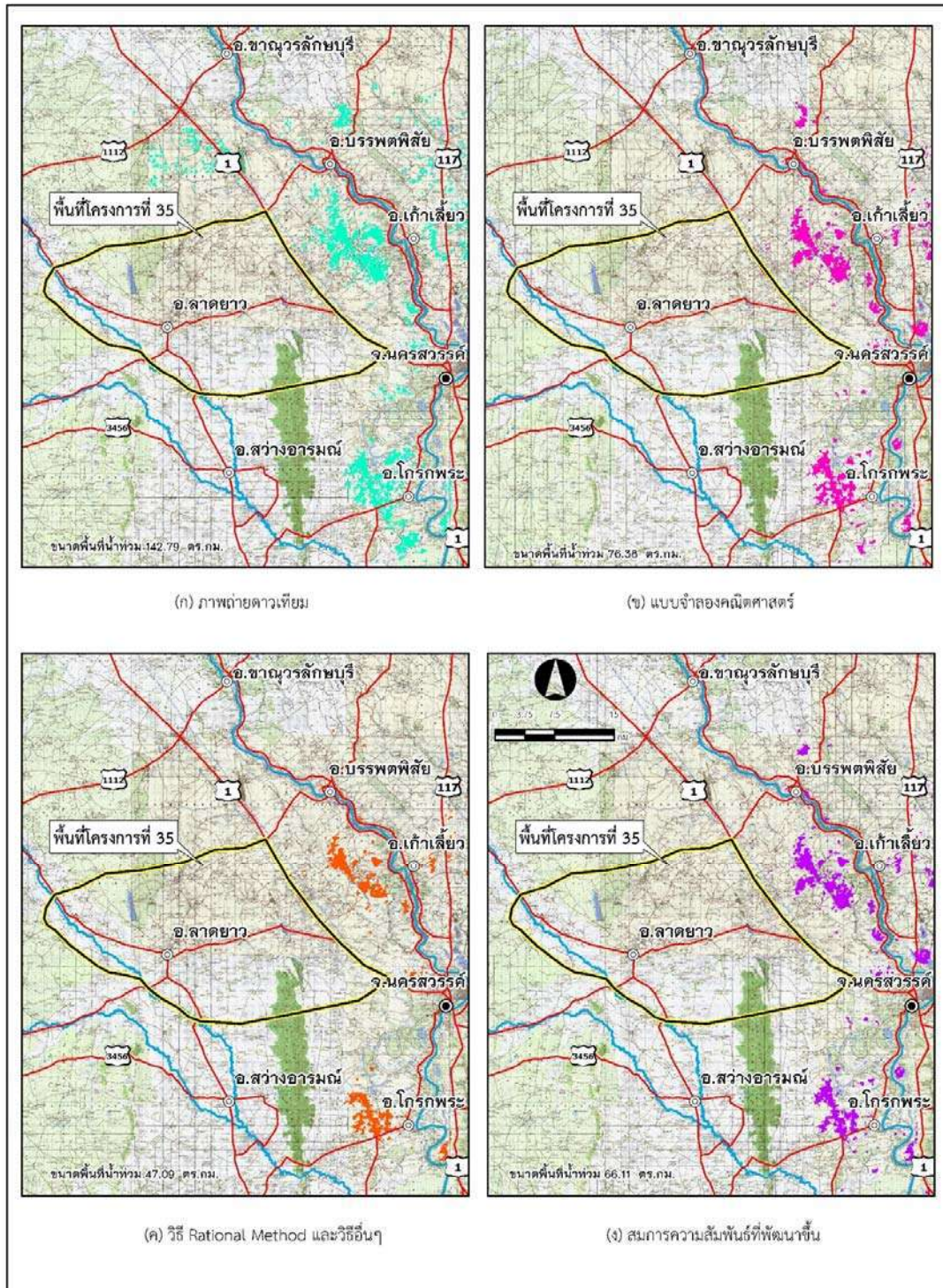
รูปที่ 8.2-7 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32



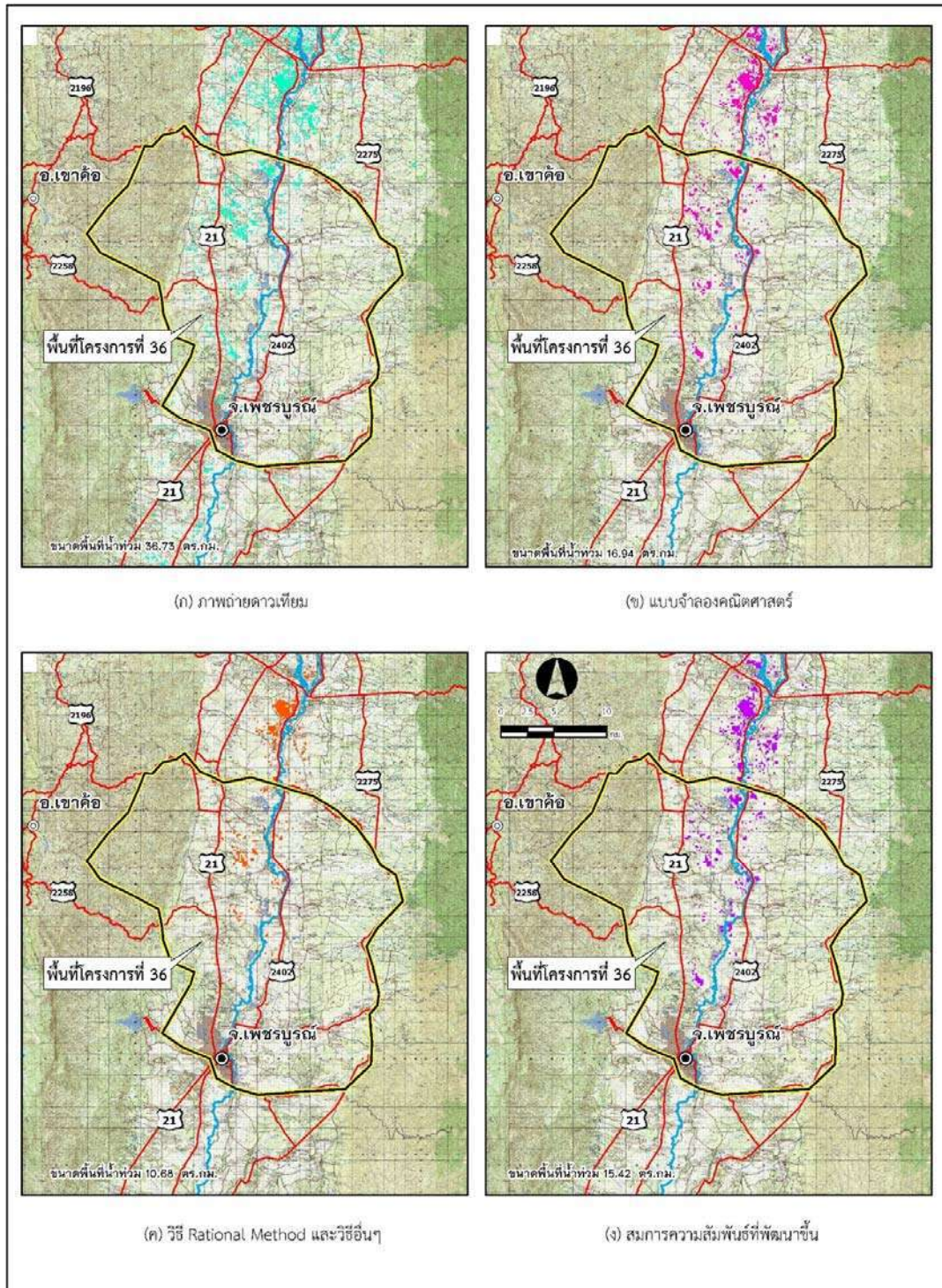
รูปที่ 8.2-8 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33



รูปที่ 8.2-9 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34



รูปที่ 8.2-10 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35



รูปที่ 8.2-11 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดจากสมการที่ปรับปรุงขึ้นในพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36



ตารางที่ 8.2-1 การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่น้ำท่วมระหว่าง ภาพถ่ายดาวเทียม ผลจากแบบจำลอง การประเมินโดยใช้
วิธี Rational Formula และ การใช้สมการที่เสนอใหม่

พื้นที่ศึกษา	พื้นที่น้ำท่วมจากภาพถ่าย (ตารางกิโลเมตร)	พื้นที่น้ำท่วมจากแบบจำลอง (ตารางกิโลเมตร)	วิธี Rational Formula			สมการที่เสนอใหม่		
			พื้นที่น้ำท่วม (ตารางกิโลเมตร)	%พื้นที่น้ำท่วมเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม	%พื้นที่น้ำท่วมเทียบกับแบบจำลอง	พื้นที่น้ำท่วม (ตารางกิโลเมตร)	%พื้นที่น้ำท่วมเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม	%พื้นที่น้ำท่วมเทียบกับแบบจำลอง
6	208.48	127.73	98.91	47.44%	77.44%	128.20	61.49%	100.37%
7	180.15	113.12	78.33	43.48%	69.25%	97.08	53.89%	85.82%
19	208.49	133.44	88.60	42.50%	66.40%	117.13	56.18%	87.78%
20	129.09	79.45	55.06	42.65%	69.30%	68.02	52.69%	85.61%
23	228.63	195.52	130.35	57.01%	66.67%	168.00	73.48%	85.92%
31	107.41	59.71	36.67	34.14%	61.41%	50.43	46.95%	84.46%
32	127.94	77.28	48.35	37.79%	62.56%	72.98	57.04%	94.44%
33	54.38	26.46	17.11	31.46%	64.66%	25.92	47.66%	97.96%
34	92.23	79.65	55.76	60.46%	70.01%	73.21	79.38%	91.91%
35	142.79	76.38	47.09	32.98%	61.65%	66.11	46.30%	86.55%
36	36.73	16.94	10.68	29.08%	63.05%	15.42	41.98%	91.03%



ตารางที่ 8.2-2 การเปรียบเทียบตำแหน่งการเกิดน้ำท่วมและน้ำไม่ท่วมระหว่างภาพถ่ายดาวเทียม ผลจากแบบจำลอง การประเมินโดยใช้วิธี Rational Formula และ การใช้สมการที่เสนอใหม่ (กริดขนาด 200x200 ม.)

พื้นที่ศึกษา	กรณีพื้นที่	เปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม					เปรียบเทียบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์				
		จำนวนกริดจากภาพถ่าย	จำนวนกริดที่ตรงกันจาก Rational Formula	จำนวนกริดที่ตรงกันจากสมการที่ปรับปรุง	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยวิธี Rational Formula	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยสมการที่ปรับปรุง	จำนวนกริดจากแบบจำลอง	จำนวนกริดที่ตรงกันจาก Rational Formula	จำนวนกริดที่ตรงกันจากสมการที่ปรับปรุง	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยวิธี Rational Formula	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยสมการที่ปรับปรุง
6	น้ำท่วม	9,100	2,793	3,797	30.69%	41.73%	3,831	2,857	74.58%	3,650	95.28%
	ไม่ท่วม	33,349	33,285	33,259	99.81%	99.73%	38,618	37,333	96.67%	38,381	99.39%
7	น้ำท่วม	8,169	1,772	2,059	21.69%	25.21%	3,882	2,767	71.28%	3,177	81.84%
	ไม่ท่วม	72,015	71,020	70,843	98.62%	98.37%	76,302	73,739	96.64%	76,248	99.93%
19	น้ำท่วม	9,585	3,911	4,861	40.80%	50.71%	5,650	4,037	71.45%	4,988	88.28%
	ไม่ท่วม	44,175	44,049	44,014	99.71%	99.64%	48,110	47,451	98.63%	48,076	99.93%
20	น้ำท่วม	6,135	2,279	2,700	37.15%	44.01%	3,283	2,323	70.76%	2,757	83.98%
	ไม่ท่วม	47,625	47,581	47,533	99.91%	99.81%	50,477	48,492	96.07%	50,442	99.93%
23	น้ำท่วม	8,887	4,659	5,920	52.42%	66.61%	7,157	4,890	68.32%	6,263	87.51%
	ไม่ท่วม	57,567	57,276	57,163	99.49%	99.30%	59,299	59,238	99.90%	59,238	99.90%
31	น้ำท่วม	4,830	1,612	2,109	33.37%	43.66%	2,607	1,716	65.82%	2,283	87.57%
	ไม่ท่วม	48,930	48,826	48,697	99.79%	99.52%	51,153	50,676	99.07%	51,094	99.88%



ตารางที่ 8.2-2(ต่อ) การเปรียบเทียบตำแหน่งการเกิดน้ำท่วมและน้ำไม่ท่วมระหว่างภาพถ่ายดาวเทียม ผลจากแบบจำลอง การประเมินโดยใช้วิธี Rational Formula และ การใช้สมการที่เสนอใหม่ (กริดขนาด 200x200 ม.)

พื้นที่ศึกษา	กรณีพื้นที่	เปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียม					เปรียบเทียบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์				
		จำนวนกริดจากภาพถ่าย	จำนวนกริดจาก Rational Formula	จำนวนกริดจากสมการที่ปรับปรุง	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยวิธี Rational Formula	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยสมการที่ปรับปรุง	จำนวนกริดจากแบบจำลอง	จำนวนกริดจาก Rational Formula	จำนวนกริดจากสมการที่ปรับปรุง	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยวิธี Rational Formula	%ตำแหน่งที่ตรงกันด้วยสมการที่ปรับปรุง
32	น้ำท่วม	5,263	1,859	2,669	35.32%	50.71%	2,944	1,888	64.13%	2,713	92.15%
	ไม่ท่วม	48,497	48,468	48,383	99.94%	99.76%	50,816	49,627	97.66%	50,746	99.86%
33	น้ำท่วม	5,234	1,143	1,603	21.84%	30.63%	1,897	1,307	68.90%	1,797	94.73%
	ไม่ท่วม	37,215	37,051	36,975	99.56%	99.36%	40,552	38,274	94.38%	40,506	99.89%
34	น้ำท่วม	4,137	2,216	2,872	53.57%	69.42%	3,401	2,392	70.33%	3,118	91.68%
	ไม่ท่วม	38,312	38,136	38,051	99.54%	99.32%	39,048	38,085	97.53%	39,033	99.96%
35	น้ำท่วม	5,510	1,617	1,988	29.35%	36.08%	2,791	1,831	65.60%	2,379	85.24%
	ไม่ท่วม	89,970	89,756	89,551	99.76%	99.53%	92,689	88,183	95.14%	92,661	99.79%
36	น้ำท่วม	3,611	620	794	17.17%	21.99%	1,136	757	66.64%	947	83.36%
	ไม่ท่วม	50,149	50,012	49,898	99.73%	99.50%	52,624	50,459	95.89%	52,526	99.81%



8.3. การจัดทำแบบแนะนำการก่อสร้างของอาคารระบายน้ำ

ในการจัดทำแบบแนะนำสำหรับการก่อสร้างอาคารระบายน้ำ ที่ปรึกษาจะตั้งสมมติฐานโดยการนำแบบมาตรฐานของอาคารระบายน้ำกรมทางหลวงที่มีอยู่ในปัจจุบัน มาทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลผ่านให้สูงมากยิ่งขึ้น โดยในการวิเคราะห์จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประเภท Finite Difference มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลอง และผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

8.3.1. แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง RMA2 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยห้องวิจัยแบบจำลองทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Modeling Research Laboratory: EMRL) ที่มหาวิทยาลัยบริกแฮมยั้ง (Brigham Young University) มาใช้ในการจำลองการไหลแบบ 2 มิติ โดยแบบจำลอง RMA2 เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับจำลองสถานการณ์การไหลเฉลี่ยของน้ำตามความลึกแบบ 2 มิติ คำนวณหาค่าตอบด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) จากสมการควบคุม 2 สมการ คือสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) หรือสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes Equation) และสมการอนุรักษ์มวลหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสมการความต่อเนื่อง (Conservation of Mass or Continuity Equation) โดยรายละเอียดของสมการควบคุมทั้ง 2 มีดังนี้

1. สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ในแนวแกน X และ Y

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial y} \right] + \frac{gun^2}{\left(h^{\frac{1}{6}} \right)^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \cos \psi - 2hv\omega \sin \Phi = 0 \quad (1)$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial y} \right] + \frac{gvn^2}{\left(h^{\frac{1}{6}} \right)^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \xi V_a^2 \sin \psi + 2hu\omega \sin \Phi = 0 \quad (2)$$



2. สมการอนุรักษ์มวล (Conservation of Mass or Continuity Equation)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

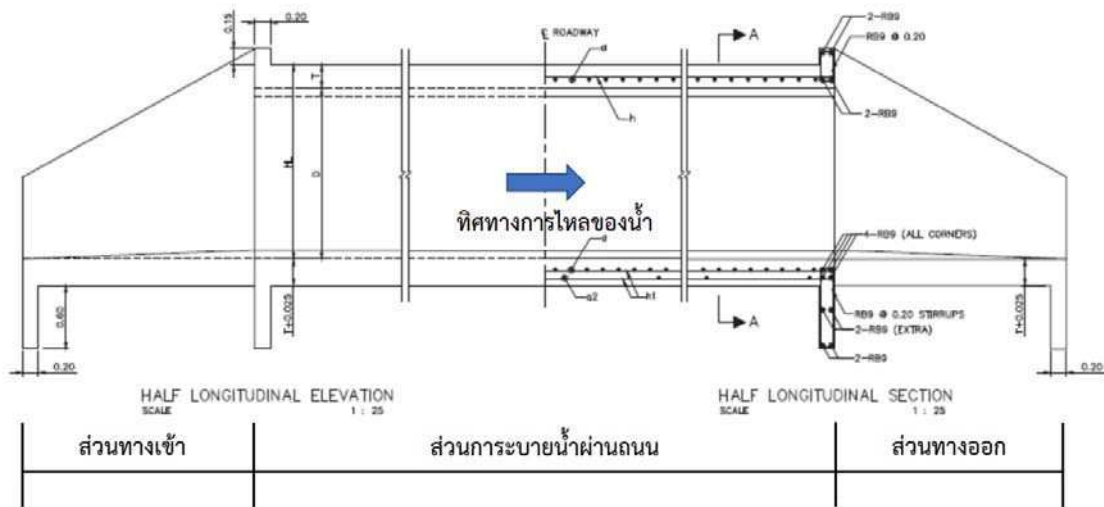
เมื่อ

- h = ความลึกของน้ำ (m)
- u, v = ความเร็วของกระแส น้ำ (m/s)
- x, y, t = โคออร์ดิเนตในระบบพิกัดฉาก (m) และเวลา (s)
- ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (น้ำเค็ม $\rho = 1,026 \text{ kg/m}^3$)
- E = Eddy viscosity coefficient
- g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s^2)
- a = ระดับของพื้นที่ท้องทะเล (m)
- n = Mannings' n value (ความขรุขระของท้องน้ำ)
- ξ = สัมประสิทธิ์ของความเค้นเนื่องจากลม
- V_a = ความเร็วของลม (m/s)
- ψ = ทิศทางของลม (องศา)
- ω = ความเร็วเชิงมุมที่โลกหมุนรอบตัวเอง ($7.29 \times 10^{-5} / s$)
- Φ = ละติจูด ณ พื้นที่แบบจำลอง (องศา)

8.3.2. สมมติฐานและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง RMA 2

8.3.2.1. สมมติฐานในการวิเคราะห์

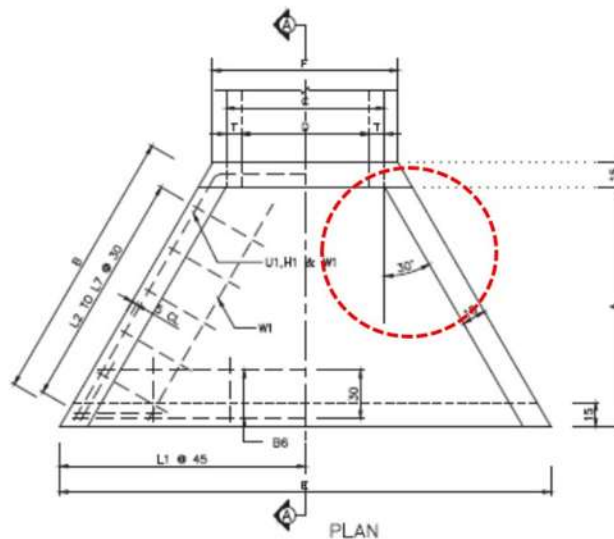
ในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแบบก่อสร้างอาคารระบายน้ำ ที่ปรึกษาจะอาศัยข้อมูลจากแบบมาตรฐานเดิมของอาคารท่อลอดและอาคารท่อเหลี่ยมซึ่งกรมทางหลวงใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นหลัก ซึ่งจากแบบมาตรฐานจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของอาคารท่อลอดและท่อเหลี่ยมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนทางเข้า (Inlet Structure) ส่วนการระบายน้ำผ่านถนนหรือขนาดของท่อ และส่วนทางออก (Outlet Structure) ดังแสดงในรูปที่ 8.3-1



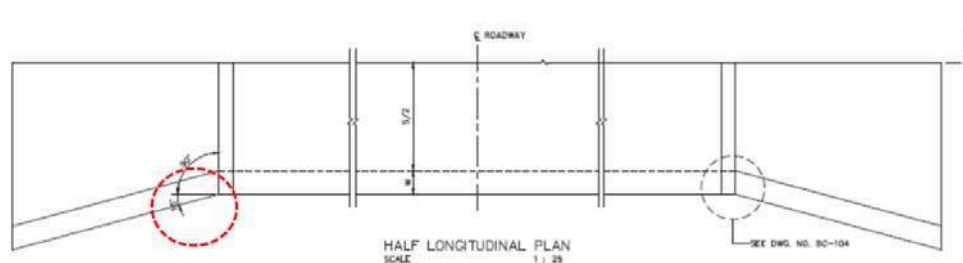
รูปที่ 8.3-1 องค์ประกอบของอาคารระบายน้ำผ่านถนน

จากพฤติกรรมการไหลตามทฤษฎีด้านชลศาสตร์ พบว่า องค์ประกอบที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการระบายน้ำผ่านถนนมากที่สุด ได้แก่ การไหลบริเวณช่วงทางเข้า และการไหลลอดผ่านถนน โดยในส่วนของการไหลลอดผ่านถนนนั้น ตัวแปรที่สำคัญคือ ขนาดของพื้นที่หน้าตัดการไหล หรือขนาดของท่อลอดและท่อเหลี่ยมที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งหากพิจารณาตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ใช้ในปัจจุบัน พบว่า ผู้ออกแบบสามารถกำหนดขนาดหน้าตัดการไหลได้อย่างอิสระ โดยการเพิ่มขนาดหรือจำนวนของท่อลอดและท่อเหลี่ยมได้ตามแบบมาตรฐานดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแบบรายละเอียดการก่อสร้างในส่วนนี้ สำหรับในส่วนในช่วงทางเข้านั้น ตามแบบมาตรฐานได้กำหนดให้มีลักษณะเป็น Wingwall ซึ่งมีการกำหนดมุมไว้เพียงขนาดเดียวคือ 30 องศาสำหรับท่อกลม และ 15 องศาสำหรับท่อเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 8.3-2 และ รูปที่ 8.3-3 ตามลำดับ โดยเหตุผลได้มีการกำหนดรูปแบบมุมของ Wingwall ให้มีค่านี้นั้น ที่ปรึกษาได้มีการสอบถามไปยังผู้จัดทำแบบมาตรฐานในปัจจุบัน โดยให้เหตุผลไว้ดังนี้คือ

“ในการออกแบบมุมของ Wingwall จะพิจารณาตามแนวทางการออกแบบตามแบบมาตรฐานเดิมของกรมทางหลวง ก่อนการปรับปรุงและข้อเสนอแนะการออกแบบในต่างประเทศ เช่น *Hydraulic Design of Highway Culverts* ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมุมที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงระหว่าง 15 ถึง 30 องศา ซึ่งหากมุมของ Wingwall มีค่ามากก็จะทำให้ลดการสูญเสียของพลังงานบริเวณทางเข้า ซึ่งส่งผลให้ความเร็วการไหลมีค่าสูง อย่างไรก็ตามหากมุมมีค่ากว้างมาก ก็จะส่งผลให้แรงดันหรือโมเมนต์ของน้ำที่เข้าปะทะโครงสร้างมีค่าเช่นกัน ซึ่งจะส่งผลให้ต้องมีการเสริมเหล็กหรือเพิ่มความหนาของคอนกรีตมากขึ้น ดังนั้น เพื่อให้เหมาะสมจึงกำหนดให้มุมของ Wingwall ตามแบบมาตรฐานที่ปรับปรุง เหมือนกับแบบมาตรฐานเดิมของกรมทางหลวง”



รูปที่ 8.3-2 การกำหนดมุมของ Wingwall ในแบบก่อสร้างทอกลม ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง



รูปที่ 8.3-3 การกำหนดมุมของ Wingwall ในแบบก่อสร้างทอเหลี่ยม ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง



ดังนั้น ในการศึกษาคั้งนี้ จึงจะทำการทดสอบโดยการปรับมุมของ Wingwall ในแบบจำลอง RMA 2 เพื่อวิเคราะห์ความเร็วการไหล โดยในกรณีของท่อกลมจะทำการทดลองมุมของ Wingwall จาก 30 องศา เป็น 45 องศา ในขณะที่ท่อเหลี่ยมจะทำการทดลองปรับจาก 15 องศา เป็น 45 องศา

8.3.2.2. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง RMA 2

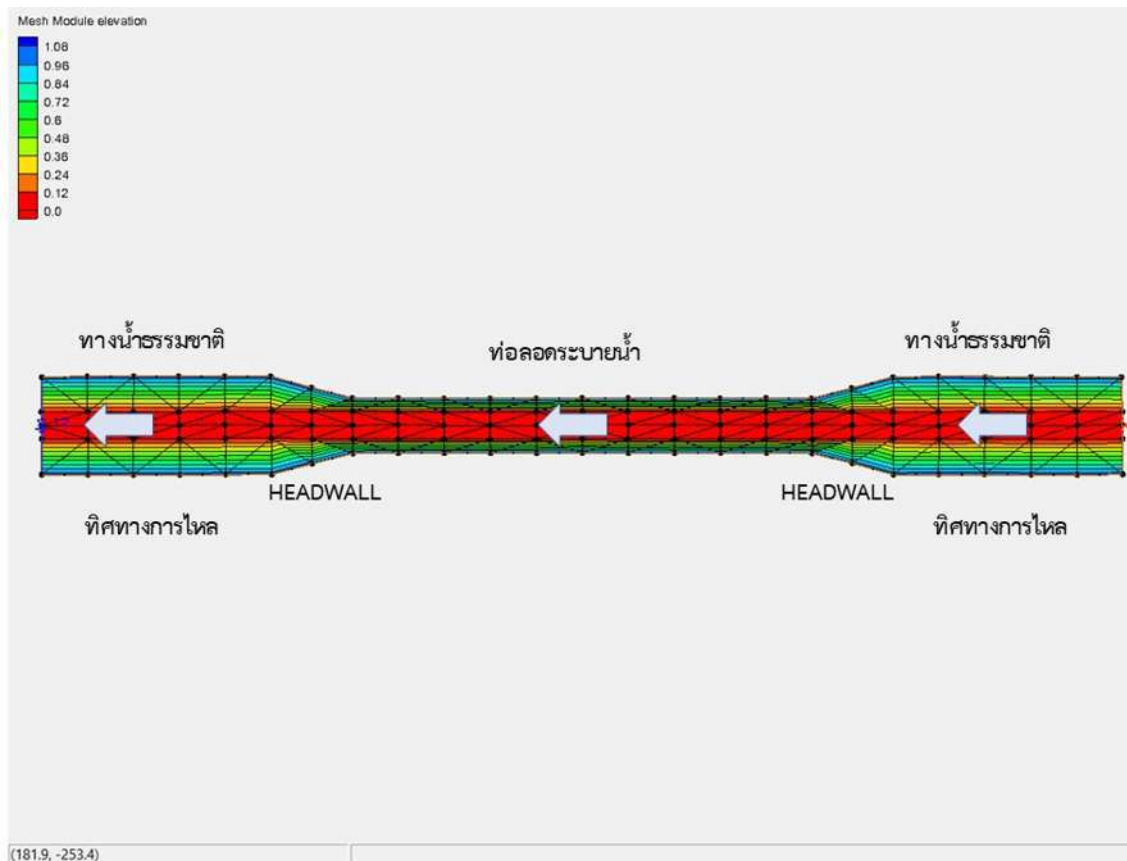
การประยุกต์ใช้แบบจำลอง RMA 2 เพื่อประเมินความเร็วและทิศทางการไหลผ่านท่อลอดแบบ 2 มิติ มีสมมติฐาน คือ

การวิเคราะห์การไหลแบบ 2 มิติ เพื่อต้องการทราบความเร็วและขนาดทิศทางการไหลผ่านท่อลอดระบายน้ำ กรณีมีการปรับปรุง บริเวณ Wingwall ตามแบบมาตรฐานการก่อสร้างเดิม เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ประกอบการศึกษาการปรับปรุงแบบมาตรฐานท่อลอดระบายน้ำต่อไปสำหรับกระบวนการสำคัญๆ ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง มีดังต่อไปนี้

(1) การสร้างขอบเขตของแบบจำลอง

เพื่อที่จะจำลองระบบทางกายภาพของทางน้ำจำลองให้อยู่ในระบบคอมพิวเตอร์ ข้อมูลทางด้านกายภาพต่างๆ ของทาง ซึ่งประกอบด้วย รูปตัดลำน้ำ และลักษณะของท่อลอด โดยข้อมูลรูปตัดต่างๆ ต้องมีการกำหนดพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geo-Referenced) ในแบบจำลองให้มีโคออร์ดิเนตเป็น UTM ในระบบหน่วยเมตริก จากนั้นจะใช้เครื่องมือในการสร้างขอบเขตของการจำลอง (Boundary) โดยการ Digitize เส้นรอบพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมขอบเขตทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำที่พิจารณา หลังจากนั้นทำการสร้างเส้น Contours จากข้อมูลรูปตัดทางน้ำ ในแผนที่และสร้างเอลิเมนต์ในแบบจำลองโดยใช้เอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม (Triangular element) เมื่อได้จุดความลึกน้ำและเอลิเมนต์แล้วจะกระจายความลึกน้ำโดยหลักการ Interpolate ระหว่างความลึกน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกัน ก็จะได้พื้นที่ศึกษา ดังรูปที่ 8.3-4

เมื่อได้จุดความลึกและเอลิเมนต์แล้วจะต้องกระจายความลึกเข้าโหนดบนเอลิเมนต์ เพื่อให้ทุกโหนดมีค่าความลึกน้ำ โดยใช้หลักการ interpolate ระหว่างความลึกน้ำที่อยู่ใกล้เคียงกันของโหนดนั้นๆ จะทำให้ได้ค่าความลึกของทางน้ำทั้งพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 8.3-4 พื้นที่ขอบเขตและเอลิเมนต์ของแบบจำลองในการศึกษาการไหลผ่านท่อลอด

(2) การกำหนดพารามิเตอร์ควบคุมของแบบจำลอง

พารามิเตอร์ควบคุมของแบบจำลอง RMA 2 ที่มีความสำคัญและมีผลต่อความถูกต้องของการจำลองการไหลแบบ 2 มิติ ประกอบด้วย 2 ค่า คือค่า Eddy viscosity (E) และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระท้องน้ำ (Manning's n) ซึ่งโดยปกติแล้ว พารามิเตอร์ทั้งสองจะใช้ตามคู่มือการออกแบบท่อลอดของกรมทางหลวง



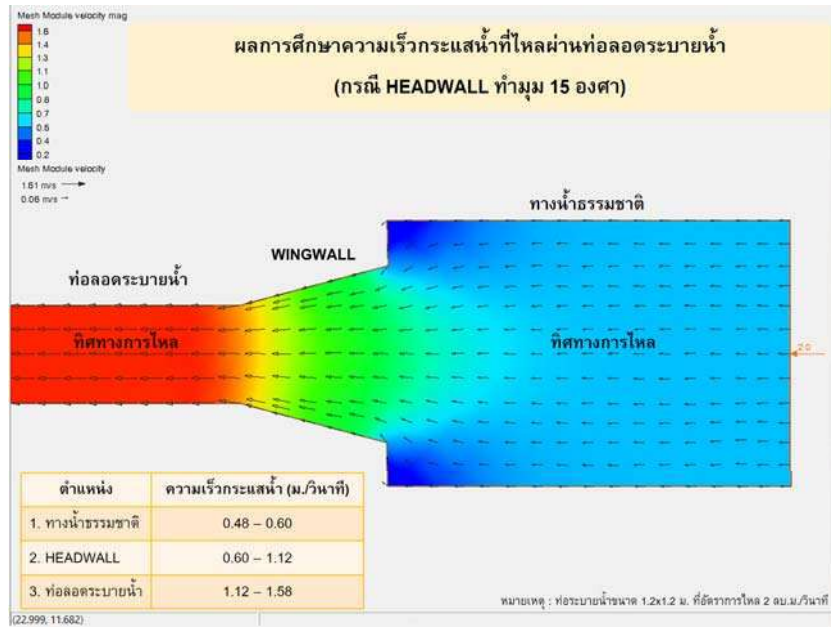
8.3.3. ผลการประเมินความเร็วและทิศทางการไหลของน้ำ

จากการเตรียมข้อมูลขอบเขตพื้นที่และเอลิเมนต์ในแบบจำลอง และพารามิเตอร์ควบคุมของแบบจำลองต่างๆ ข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลอง RMA 2 เพื่อวิเคราะห์ความเร็วและทิศทางการไหลผ่านท่อลอดระบายน้ำซึ่งแบ่งการศึกษาเป็น 2 กรณี คือ 1. การวิเคราะห์การไหลผ่านท่อเหลี่ยมตามแบบมาตรฐานเดิมคือ Wingwall ทำมุม 15 องศา และกรณีที่เสนอแนะใหม่คือ ปรับปรุง Wingwall ทำมุม 30 องศา 2. การวิเคราะห์การไหลผ่านท่อลอดกลม ตามแบบมาตรฐานเดิมคือ Wingwall ทำมุม 30 องศา และกรณีที่เสนอแนะใหม่คือ ปรับปรุง Wingwall ทำมุม 45 องศา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.3.3.1. กรณีท่อเหลี่ยม

(1) การวิเคราะห์การไหลผ่านท่อเหลี่ยมตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง (Wingwall ทำมุม 15 องศา)

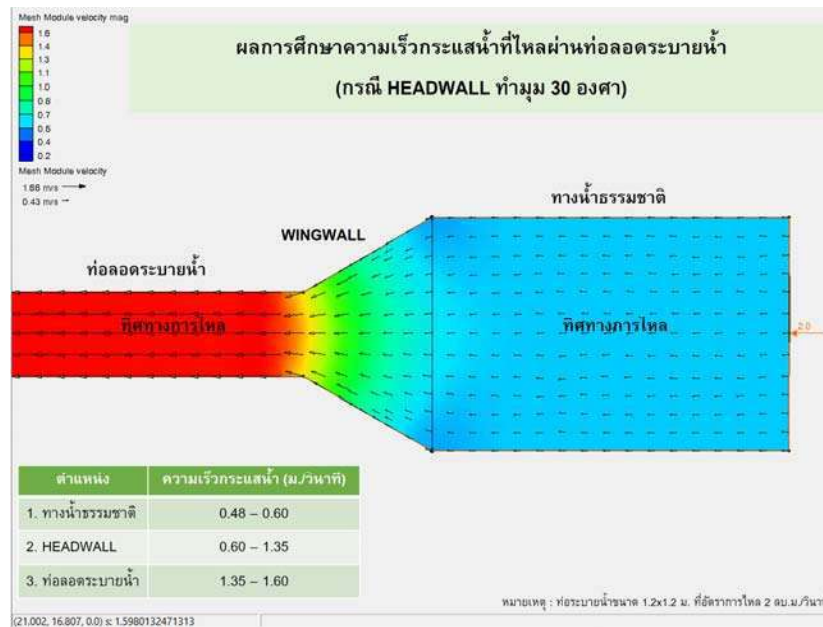
ผลการศึกษาพบว่าความเร็วและทิศทางการไหลของกระแสน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำไหลเข้า ซึ่งเป็นขอบเขตทางด้านเหนือน้ำของแบบจำลอง กล่าวคือการศึกษาการไหลแบบ 2 มิติในกรณีนี้ เป็นการวิเคราะห์การไหลผ่านท่อลอดระบายน้ำแบบ Free Flow เพื่อศึกษาการไหลและความเร็วกระแสน้ำในช่วงที่ผ่านท่อลอด โดยผลการศึกษาจากแบบจำลองพบว่าถ้าทางน้ำธรรมชาติที่ไหลผ่านเข้าท่อลอดมีขนาดพอดีกับช่วง Wingwall จะทำให้การไหลผ่านท่อลอดมีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 8.3-5 โดยช่วงที่มีความเร็วกระแสน้ำสูงสุดจะอยู่ในช่วงกึ่งกลางของท่อลอดและกระจายออกไปด้านข้างจนถึงขอบตลิ่งของทางน้ำธรรมชาติ แต่ถ้าลักษณะของทางน้ำที่มีความกว้างมากกว่า Wingwall ของท่อระบายน้ำมากก็มีผลกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำก่อนไหลเข้าท่อลอดเช่นกัน



รูปที่ 8.3-5 ความเร็วและทิศทางการไหลของกระแสน้ำที่ไหลผ่านท่อลอด (กรณี Wingwall ทำมุม 15 องศา)

(2) การวิเคราะห์การไหลผ่านท่อเหลี่ยมเมื่อมีการปรับปรุง (Wingwall ทำมุม 30 องศา)

กรณีนี้จะทำการปรับปรุงบริเวณ Headwall ให้มีการทำมุมรองรับมากขึ้นเป็น 30 องศา ผลการศึกษาพบว่าความเร็วและทิศทางการไหลของกระแสน้ำ พบว่าถ้าทางน้ำธรรมชาติที่ไหลผ่านเข้าท่อลอดมีขนาดพอดีกับช่วง Wingwall จะทำให้การไหลผ่านท่อลอดมีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 8.3-6 โดยช่วงที่มีความเร็วกระแสน้ำสูงสุดจะอยู่ในช่วงกึ่งกลางของท่อลอดและกระจายออกไปด้านข้างจนถึงขอบตลิ่งของทางน้ำธรรมชาติ แต่ถ้าลักษณะของทางน้ำที่มีความกว้างมากกว่า Headwall ของท่อระบายน้ำมากก็มีผลกับทิศทางการไหลของกระแสน้ำก่อนไหลเข้าท่อลอดเช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณี 1 ที่ Wingwall ทำมุม 30 องศา พบว่าการไหลผ่านท่อลอดกรณีนี้จะให้ความเร็วกระแสน้ำที่ราบเรียบกว่ามาก



รูปที่ 8.3-6 ความเร็วและทิศทางกระแสน้ำที่ไหลผ่านท่อลอด (กรณี Wingwall ทำมุม 30 องศา)

จากผลการศึกษาสามารถสรุป ความเร็วการไหลที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุง Wingwall ได้ดังนี้

ตำแหน่งพิจารณา	ความเร็วการไหล (เมตร/วินาที)		ร้อยละของความเร็วที่เพิ่มขึ้น
	Wingwall 15 องศา	Wingwall 30 องศา	
ทางน้ำธรรมชาติ	0.48 – 0.60	0.48 – 0.60	0.0%
บริเวณ WingWall	0.60 – 1.12	0.60 – 1.35	+20.5%
ในท่อลอด	1.12 – 1.58	1.35 – 1.60	+1.3%

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า บริเวณ Wingwall กรณีทำมุม 30 องศา จะให้ความเร็วสูงกว่ากรณีทำมุม 15 องศา ประมาณร้อยละ 20 ทำให้ความลึกของระดับน้ำลดลง ความสามารถในการระบายน้ำในช่วง Wingwall ดีขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อไหลเข้าท่อลอดแล้วความเร็วกระแสน้ำไม่แตกต่างกันมาก โดยกรณีทำมุม 30 องศา มีค่าความเร็วกระแสน้ำสูงกว่าประมาณร้อยละ 1.3 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ในกรณีที่อาคารระบายน้ำมีขนาดหน้าตัดที่เท่ากัน การเลือกใช้ Wingwall ที่มีมุมมากกว่าก็จะช่วยเพิ่มความราบเรียบของการไหลได้ดี ทำให้การไหลผ่านอาคารบริเวณทางเข้าเร็วขึ้น รวมทั้งยังช่วยลดความปั่นป่วนของกระแสน้ำและช่วยลดความเสี่ยงของการกัดเซาะได้อีกด้วย

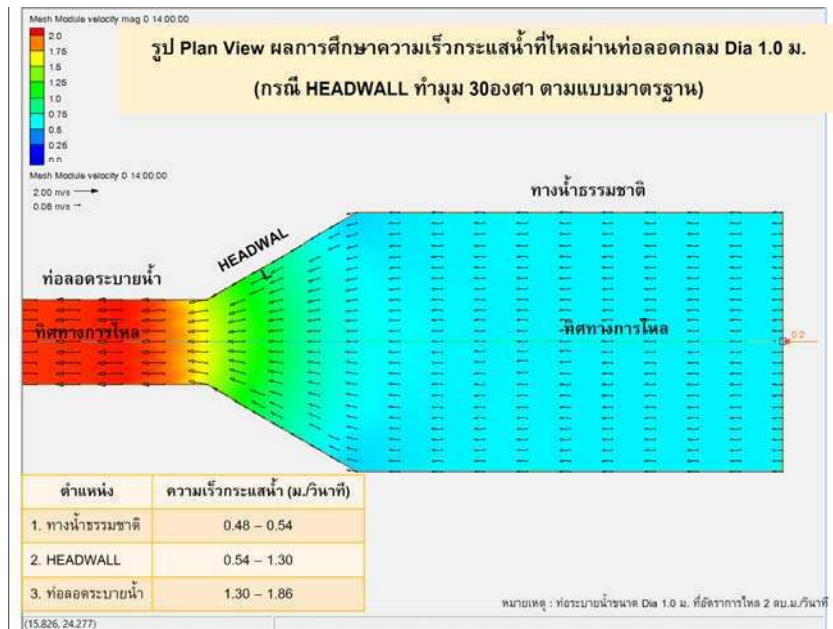


8.3.3.2. กรณีที่อกลม

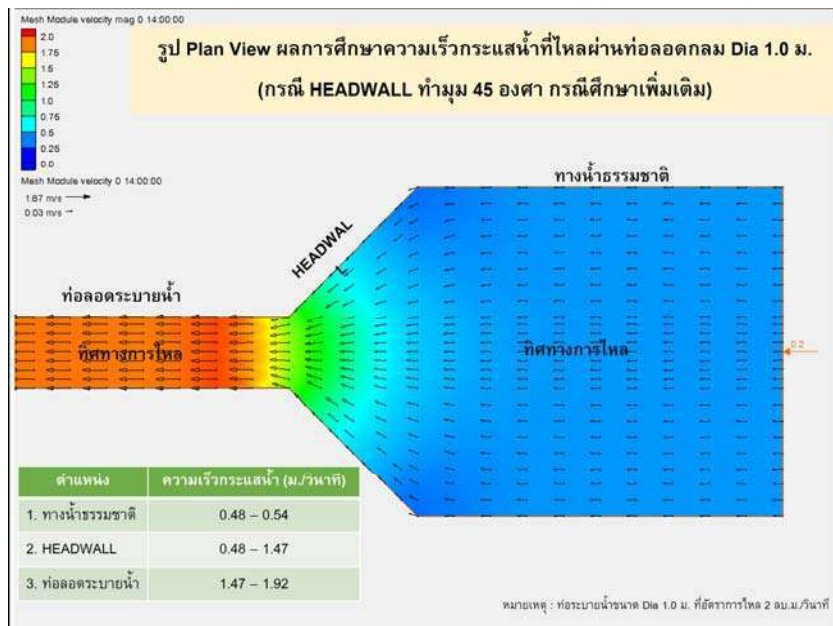
ในกรณีการวิเคราะห์การไหลแบบที่อกลมจะมีแนวทางการศึกษา เช่นเดียวกับกรณีของท่อเหลี่ยม โดยผลการศึกษา ทั้งในกรณีของตามแบบมาตรฐานเดิม (Wingwall ทำมุม 30 องศา) และที่เสนอแนะใหม่ (Wingwall ทำมุม 45 องศา) ให้ผลดังแสดงในรูปที่ 8.3-7 และรูปที่ 8.3-8 ตามลำดับ โดยที่ความเร็วการไหลที่เพิ่มขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้

ตำแหน่งพิจารณา	ความเร็วการไหล (เมตร/วินาที)		ร้อยละของความเร็วที่เพิ่มขึ้น
	Wingwall 30 องศา	Wingwall 45 องศา	
ทางน้ำธรรมชาติ	0.48 – 0.54	0.48 – 0.54	0.0%
บริเวณ WingWall	0.54 – 1.30	0.54 – 1.47	+13.1%
ในท่อลอด	1.30 – 1.86	1.47 – 1.92	+3.2%

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าบริเวณ Wingwall กรณีทำมุม 45 องศา จะให้ความเร็วสูงกว่ากรณีทำมุม 30 องศา ประมาณร้อยละ 13.1 ทำให้ความลึกของระดับน้ำลดลง ความสามารถในการระบายน้ำในช่วง Wingwall ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อไหลเข้าท่อลอดแล้วความเร็วกระแสน้ำไม่แตกต่างกันมาก โดยกรณีทำมุม 45 องศา มีค่าความเร็วกระแสน้ำสูงกว่าประมาณร้อยละ 3.2 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ในกรณีที่อาคารระบายน้ำมีขนาดหน้าตัดที่เท่ากัน การเลือกใช้ Wingwall ที่มีมุมมากกว่าจะช่วยเพิ่มความราบเรียบของการไหลได้ดีเช่นเดียวกับกรณีของท่อเหลี่ยม ทำให้การไหลผ่านอาคารบริเวณทางเข้าเร็วขึ้น



รูปที่ 8.3-7 ความเร็วและทิศทางกระแสที่ไหลผ่านท่อลอด (กรณี Wingwall ทำมุม 30 องศา)

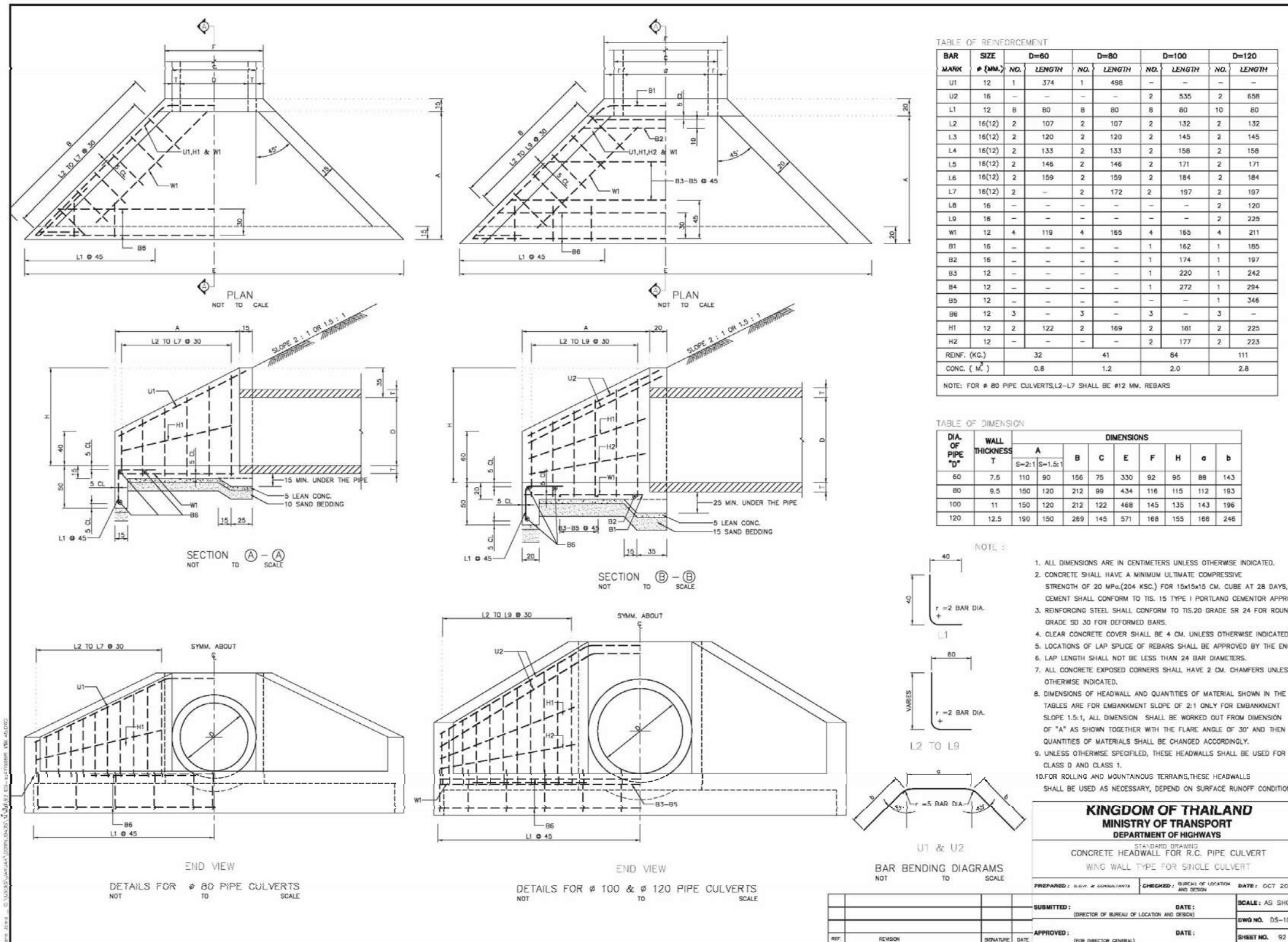


รูปที่ 8.3-8 ความเร็วและทิศทางกระแสที่ไหลผ่านท่อลอด (กรณี Wingwall ทำมุม 45 องศา)

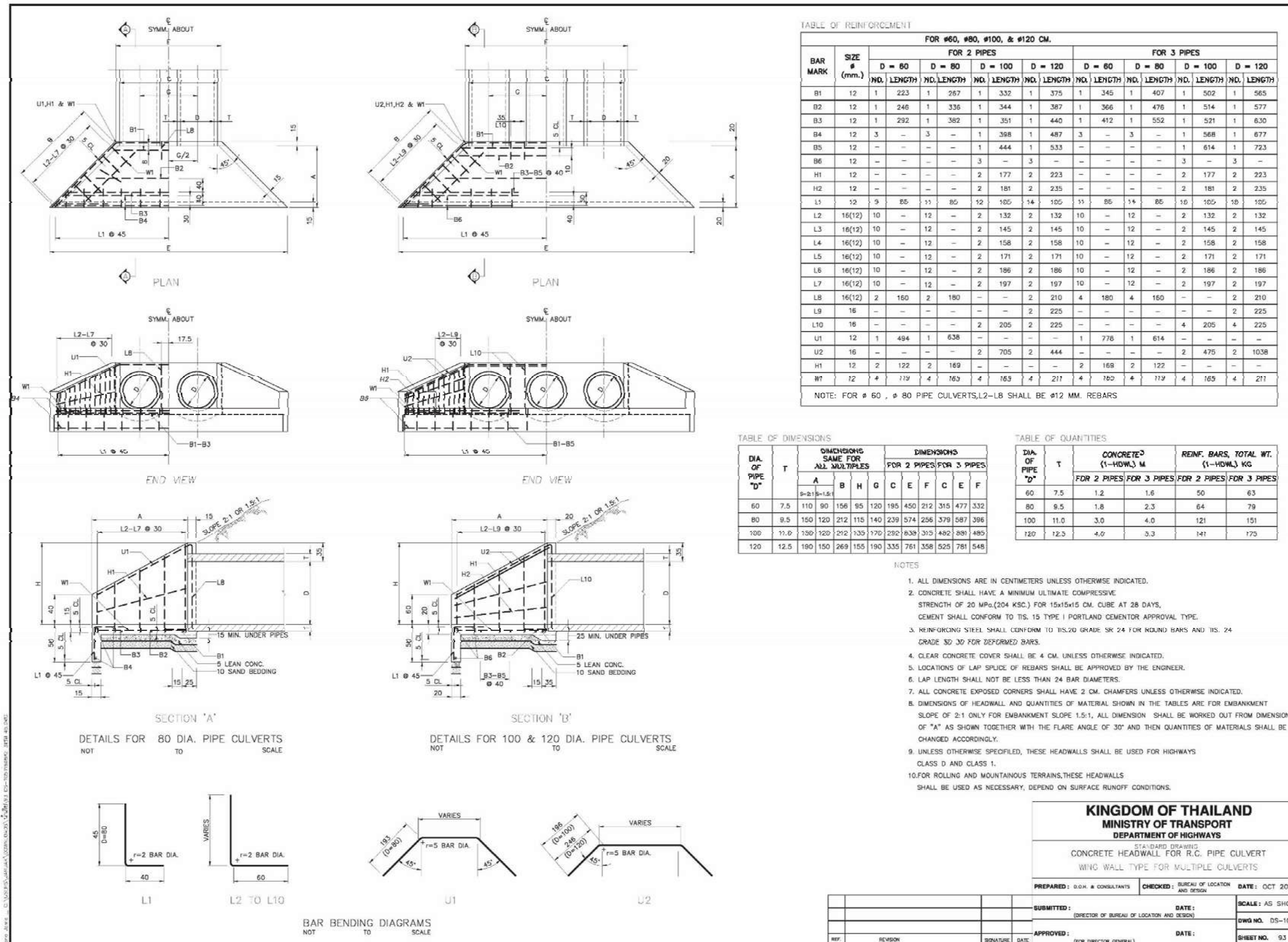


8.3.4. การจัดทำแบบแนะนำ

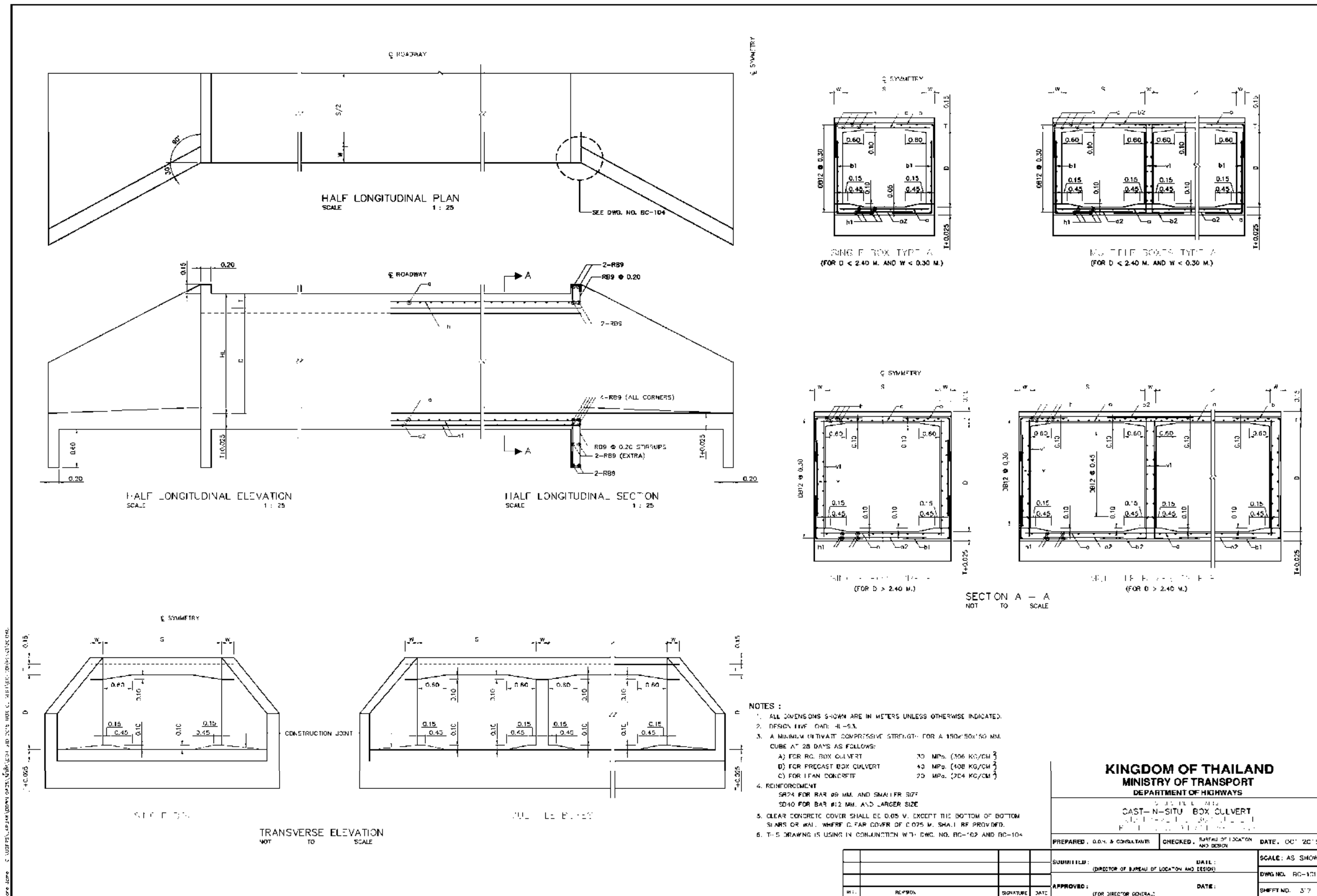
จากผลการจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเห็นว่ากรณีการปรับปรุงอาคารระบายน้ำประเภทท่อลอดถนน โดยการปรับมุมของ Wingwall กรณีที่ลอดกลมจาก จาก 30 องศา เป็น 45 องศา และกรณีท่อเหลี่ยม จาก 15 องศา เป็น 30 องศา จะทำให้การไหลผ่านท่อลอดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น ที่ปรึกษาจึงได้ทำการปรับปรุงแบบมาตรฐาน ตามแนวทางดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 8.3-7 และ รูปที่ 8.3-8 โดยเมื่อทำการคำนวณความแข็งแรงของโครงสร้างแล้วพบว่า รูปแบบโครงสร้างการเสริมเหล็กดิมยังคงสามารถนำมาใช้งานได้



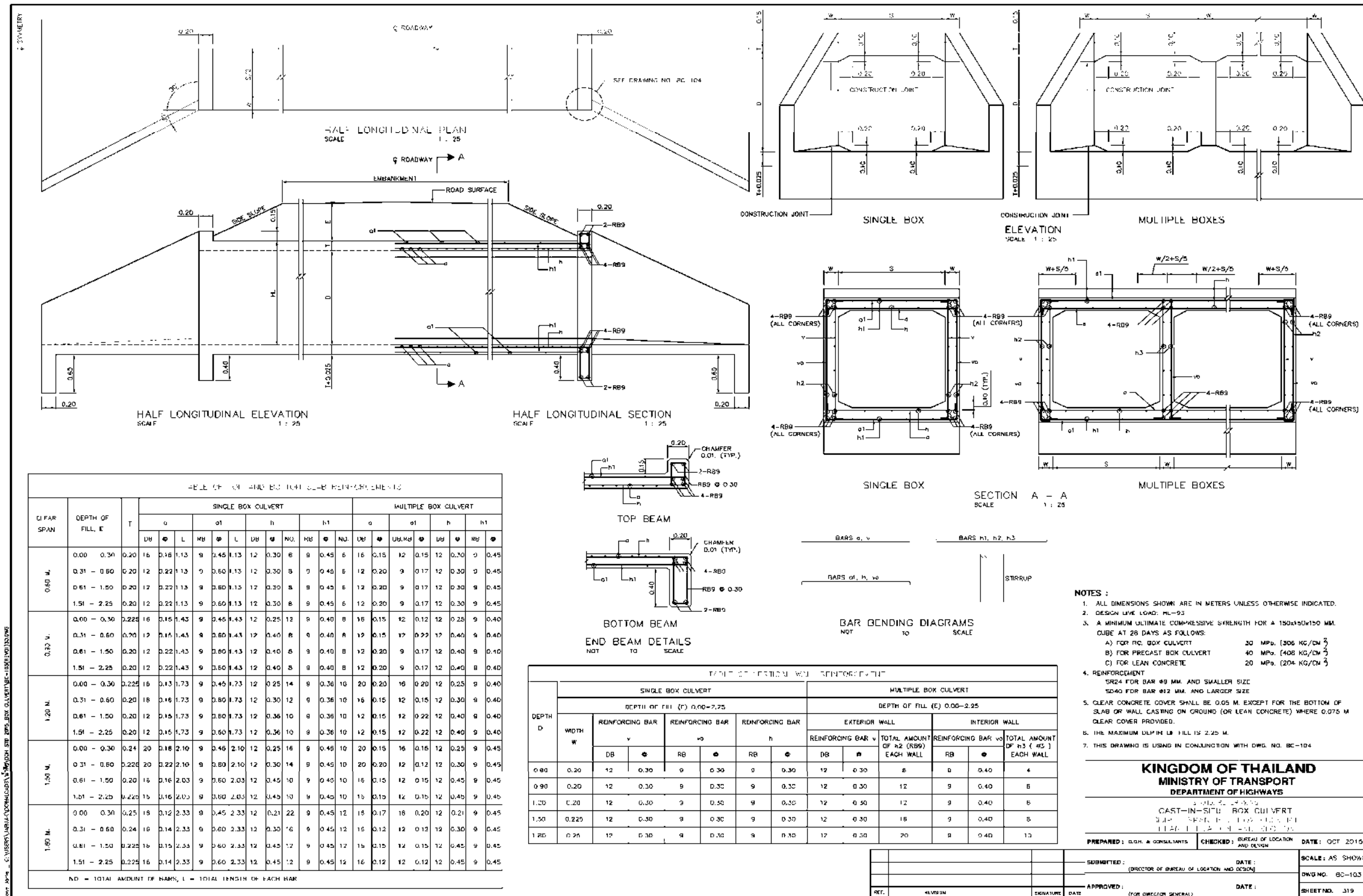
รูปที่ 8.3-7 แบบแนะนำการก่อสร้างท่อลอด (ท่อกลม) ที่ปรับปรุงใหม่ (กรณีท่อ 1 แถว)



รูปที่ 8.3-7 (ต่อ) แบบแนะนำการก่อสร้างท่อลอด (ท่อกลม) ที่ปรับปรุงใหม่ (กรณีท่อ 2-3 แถว)



รูปที่ 8.3-8 แบบแนะนำการก่อสร้างท่อลอด (ท่อเหลี่ยม) ที่ปรับปรุงใหม่



รูปที่ 8.3-8 (ต่อ) แบบแนะนำการก่อสร้างท่อลอด (ท่อเหลี่ยม) ที่ปรับปรุงใหม่



8.4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบก่อสร้างแนะนำ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำ สามารถดำเนินการได้ 2 กรณี ซึ่งทั้ง 2 กรณี มีสมมติฐานในการในการศึกษาดังนี้

กรณีที่ 1 ใช้แบบก่อสร้างแนะนำ โดยไม่มีการปรับขนาดอาคารระบายน้ำ มีสมมติฐานในการศึกษาดังนี้

- วิเคราะห์การไหลผ่านอาคารระบายน้ำตามแบบการก่อสร้างที่เสนอแนะในหัวข้อ 8.3 โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ปากทางน้ำเข้าของอาคารระบายน้ำให้สอดคล้องกับแบบแนะนำดังกล่าว
- ในการวิเคราะห์เหตุการณ์น้ำท่วมจะกำหนดให้ใช้เหตุการณ์น้ำท่วมตามผลการวิเคราะห์ที่รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) 20 ปี ซึ่งเป็นเงื่อนไขโดยทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำประเภทที่ล้น

กรณีที่ 2 ใช้แบบก่อสร้างแนะนำ และมีการปรับขนาดอาคารระบายน้ำ

- วิเคราะห์การไหลผ่านอาคารระบายน้ำตามแบบการก่อสร้างที่เสนอแนะในหัวข้อ 8.3 โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ปากทางน้ำเข้าของอาคารระบายน้ำให้สอดคล้องกับแบบแนะนำดังกล่าว
- ปรับขนาดท่อระบายน้ำในบางตำแหน่ง โดยตั้งเป้าหมายให้สามารถลดขนาดพื้นที่น้ำท่วมได้อย่างน้อยร้อยละ 20
- ในการวิเคราะห์เหตุการณ์น้ำท่วมจะกำหนดให้ใช้เหตุการณ์น้ำท่วมตามผลการวิเคราะห์ที่รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) 20 ปี ซึ่งเป็นเงื่อนไขโดยทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำประเภทที่ล้น

จากแนวทางการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบก่อสร้างแนะนำกรณีไม่มีการปรับขนาดอาคารระบายน้ำ สามารถแสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของพื้นที่น้ำท่วมระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงได้ ดังแสดงในรูปที่ 8.4-1 ถึงรูปที่ 8.4-11 และสรุปผลได้ดังตารางที่ 8.4-1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า หากไม่มีการปรับขนาดของอาคารระบายน้ำแต่มีการปรับปรุงเฉพาะรูปแบบของ Wingwall ตามที่เสนอแนะจะทำให้ขนาดของพื้นที่น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษานำร่องกรณีวิเคราะห์ที่รอบปีการเกิดซ้ำ 20 ปี ลดลงอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 1.01 ถึง ร้อยละ 9.71 โดยมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่น้ำท่วมที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 7.38

อย่างไรก็ตามถ้าหากมีการประยุกต์ใช้แบบก่อสร้างที่แนะนำพร้อมทั้งปรับปรุงขนาดของอาคารระบายน้ำด้วย จะส่งผลให้ขนาดของพื้นที่น้ำท่วมที่รอบปีการเกิดซ้ำ 20 ปี ลดลงมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 8.4-2 และรูปที่ 8.4-12 ถึงรูปที่ 8.4-22 กล่าวคือ ขนาดของพื้นที่น้ำท่วมลดลงอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 20.6 ถึง 27.05 โดยมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่น้ำท่วมที่ลดลงเท่ากับร้อยละ 22.06 ทั้งนี้รายละเอียดของตำแหน่งที่จะต้องทำการปรับปรุงอาคารระบายน้ำ (กรณีที่มีการปรับปรุงรูปแบบ Wingwall และขนาดอาคารระบายน้ำ) สามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ค. และสามารถสรุปจำนวนและประเภทอาคารที่ทำการปรับปรุงในแต่ละพื้นที่ดังตารางที่ 8.4-3



ตารางที่ 8.4-1 พื้นที่น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษานำร่องเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงอาคารระบายน้ำกรณีปรับปรุงเฉพาะรูปแบบของ Wingwall

พื้นที่ศึกษานำร่อง	พื้นที่น้ำท่วม (ตารางกิโลเมตร)		ร้อยละของพื้นที่น้ำท่วมที่ลดลง
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6	573.33	522.17	8.92
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7	1,805.34	1,630.04	9.71
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19	390.68	355.66	8.96
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20	545.93	540.41	1.01
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23	771.53	704.53	8.68
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31	913.12	897.50	1.71
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32	942.31	857.11	9.04
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33	105.31	97.82	7.11
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34	217.86	198.18	9.03
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35	1,002.92	921.83	8.09
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36	126.33	115.03	8.94
ค่าเฉลี่ย			7.38

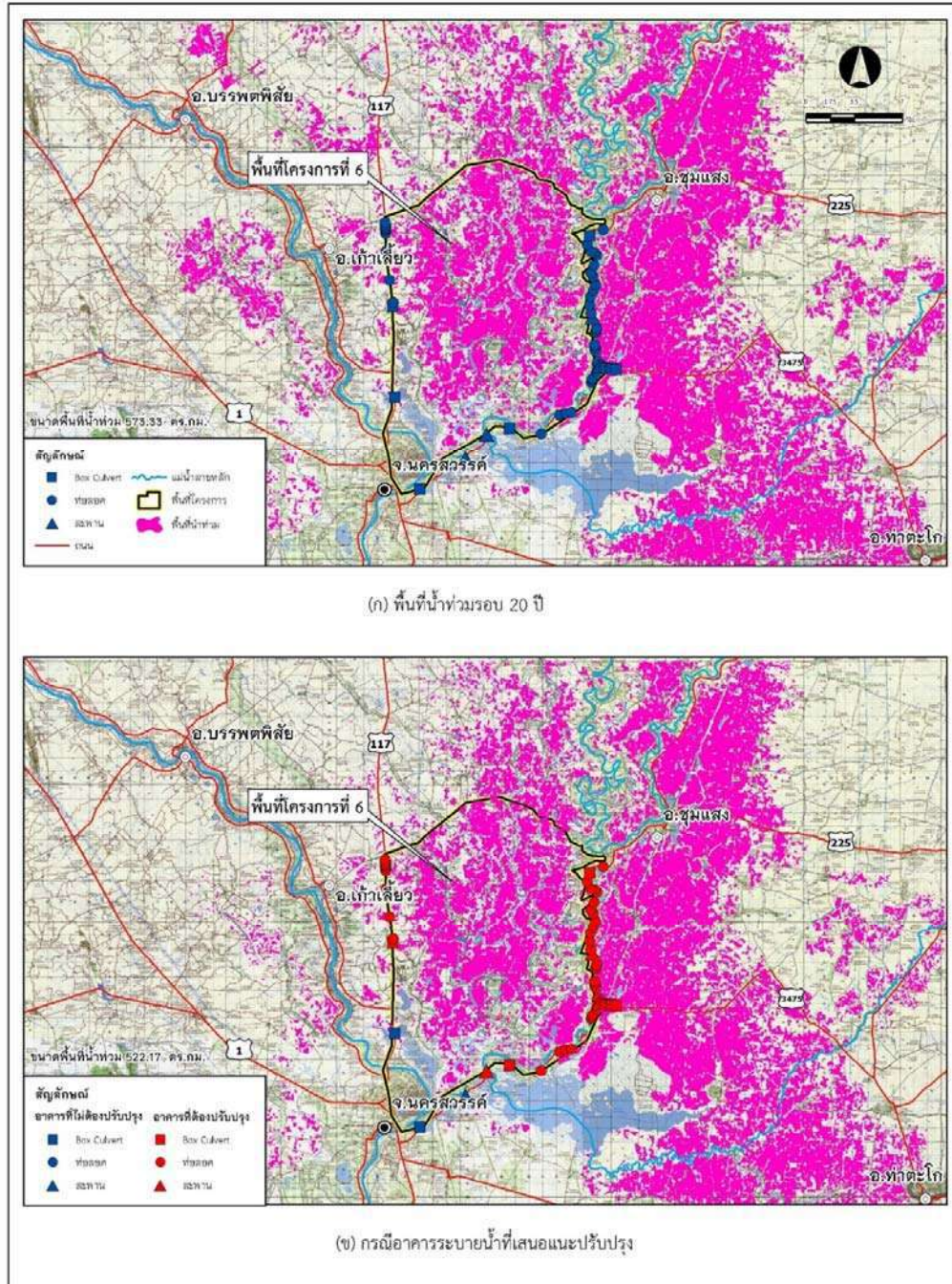
ตารางที่ 8.4-2 พื้นที่น้ำท่วมในพื้นที่ศึกษานำร่องเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงอาคารระบายน้ำกรณีปรับปรุงทั้งรูปแบบของ Wingwall และขนาดอาคารระบายน้ำ

พื้นที่ศึกษานำร่อง	พื้นที่น้ำท่วม (ตารางกิโลเมตร)		ร้อยละของพื้นที่น้ำท่วมที่ลดลง
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6	573.33	418.27	27.05
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7	1,805.34	1,429.26	20.83
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19	390.68	304.29	22.11
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20	545.93	418.78	23.29
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23	771.53	605.8	21.48
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31	913.12	725.03	20.60
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32	942.31	741.82	21.28
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33	105.31	81.79	22.33
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34	217.86	171.71	21.18
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35	1,002.92	793.93	20.84
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36	126.33	98.93	21.69
ค่าเฉลี่ย			22.06



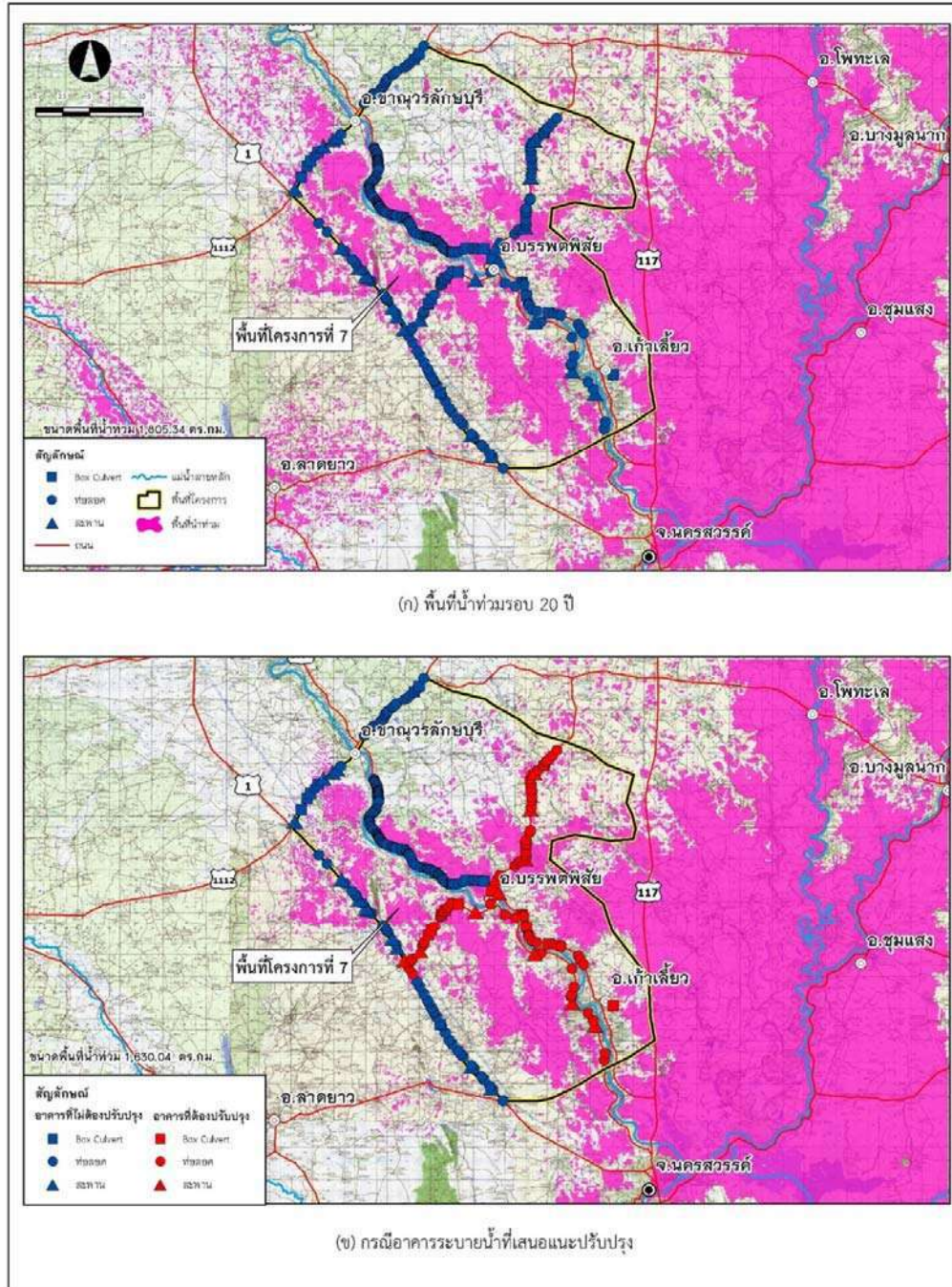
ตารางที่ 8.4-3 สรุปจำนวนและประเภทของอาคารระบายน้ำที่ปรับปรุงในพื้นที่ศึกษานำร่อง

พื้นที่ศึกษานำร่อง	จำนวนตำแหน่งที่ปรับปรุงอาคารระบายน้ำแยกตามประเภทอาคาร			รวมตำแหน่งที่ปรับปรุง
	ท่อกลม	ท่อเหลี่ยม	สะพาน	
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6	42	7	3	52
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7	66	13	10	89
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19	17	21	18	56
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20	45	23	25	93
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23	15	2	5	22
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31	14	15	25	54
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32	25	-	28	53
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33	33	8	13	54
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34	17	4	12	33
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35	21	11	1	33
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36	15	-	10	25
รวม	310	104	150	564



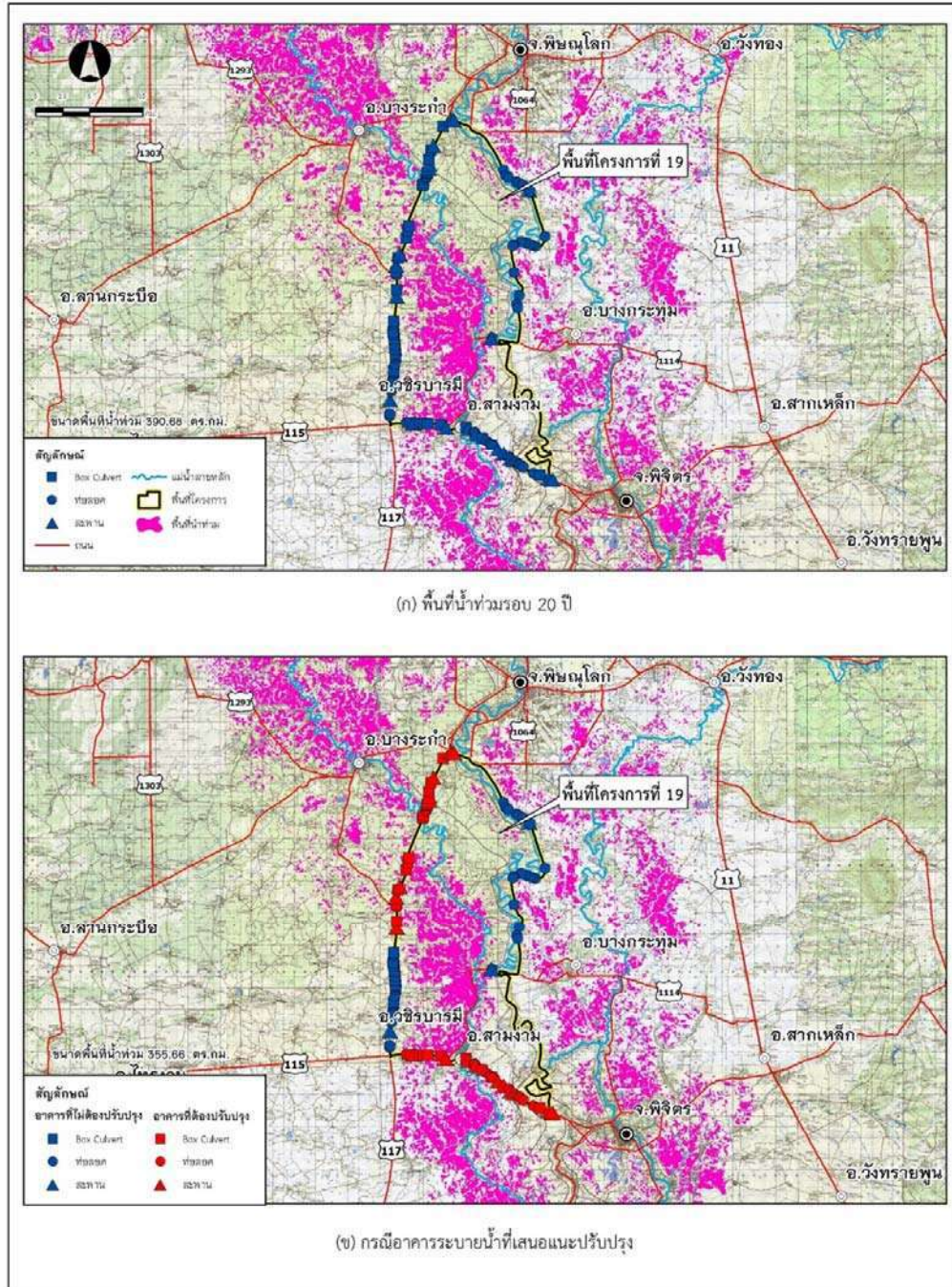
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 6

รูปที่ 8.4-1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6



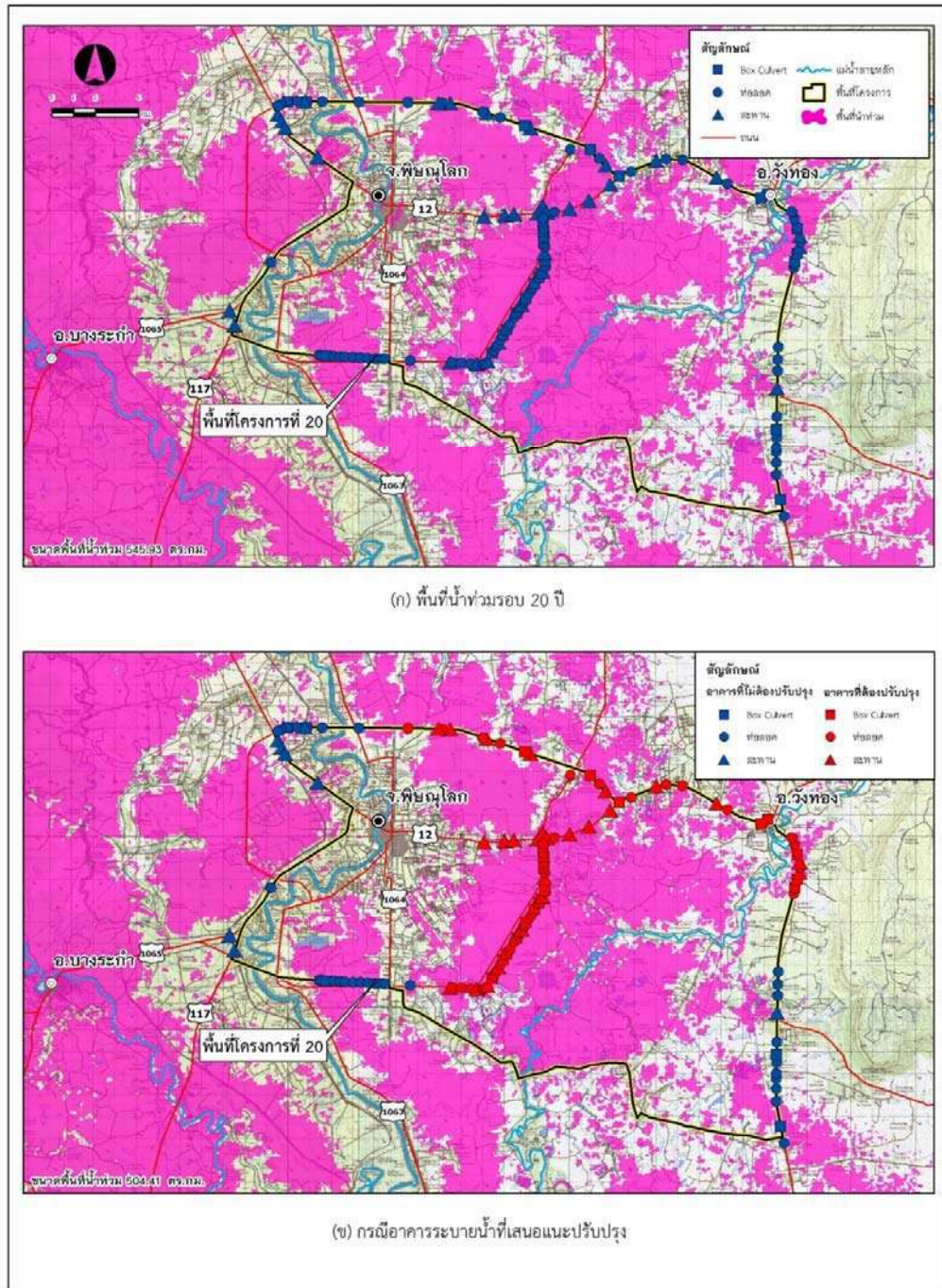
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 7

รูปที่ 8.4-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7



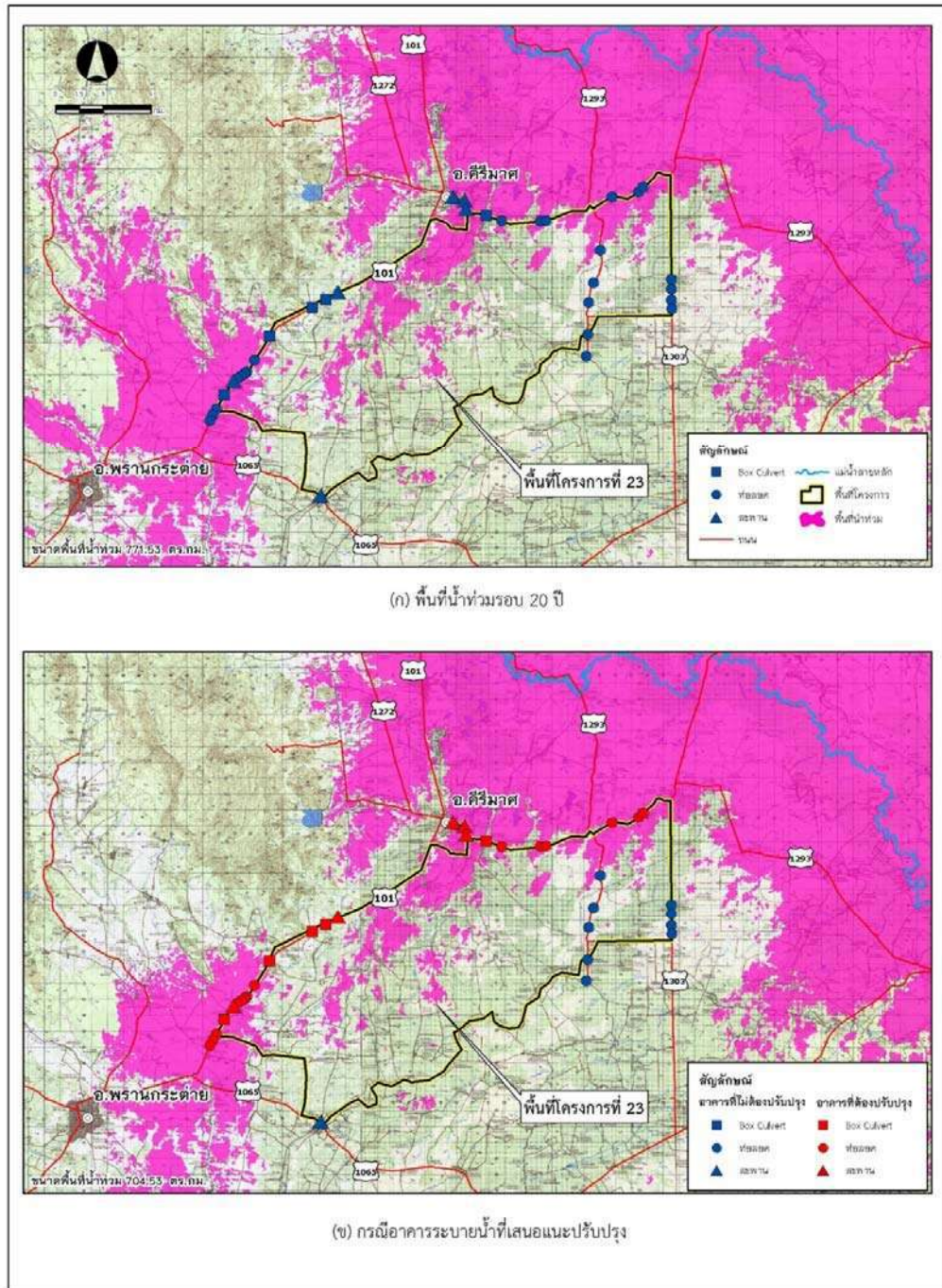
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 19

รูปที่ 8.4-3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19



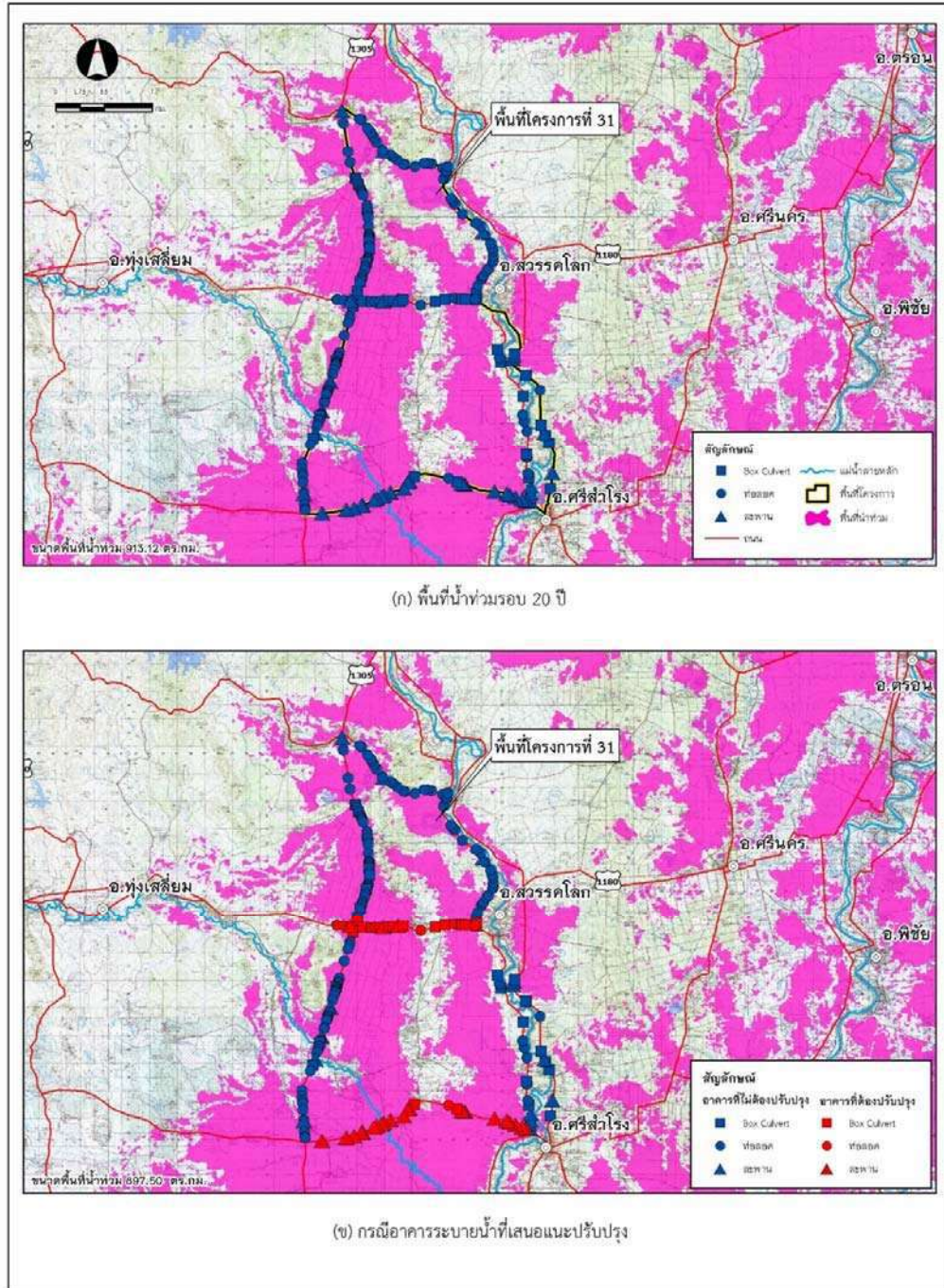
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 20

รูปที่ 8.4-4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20



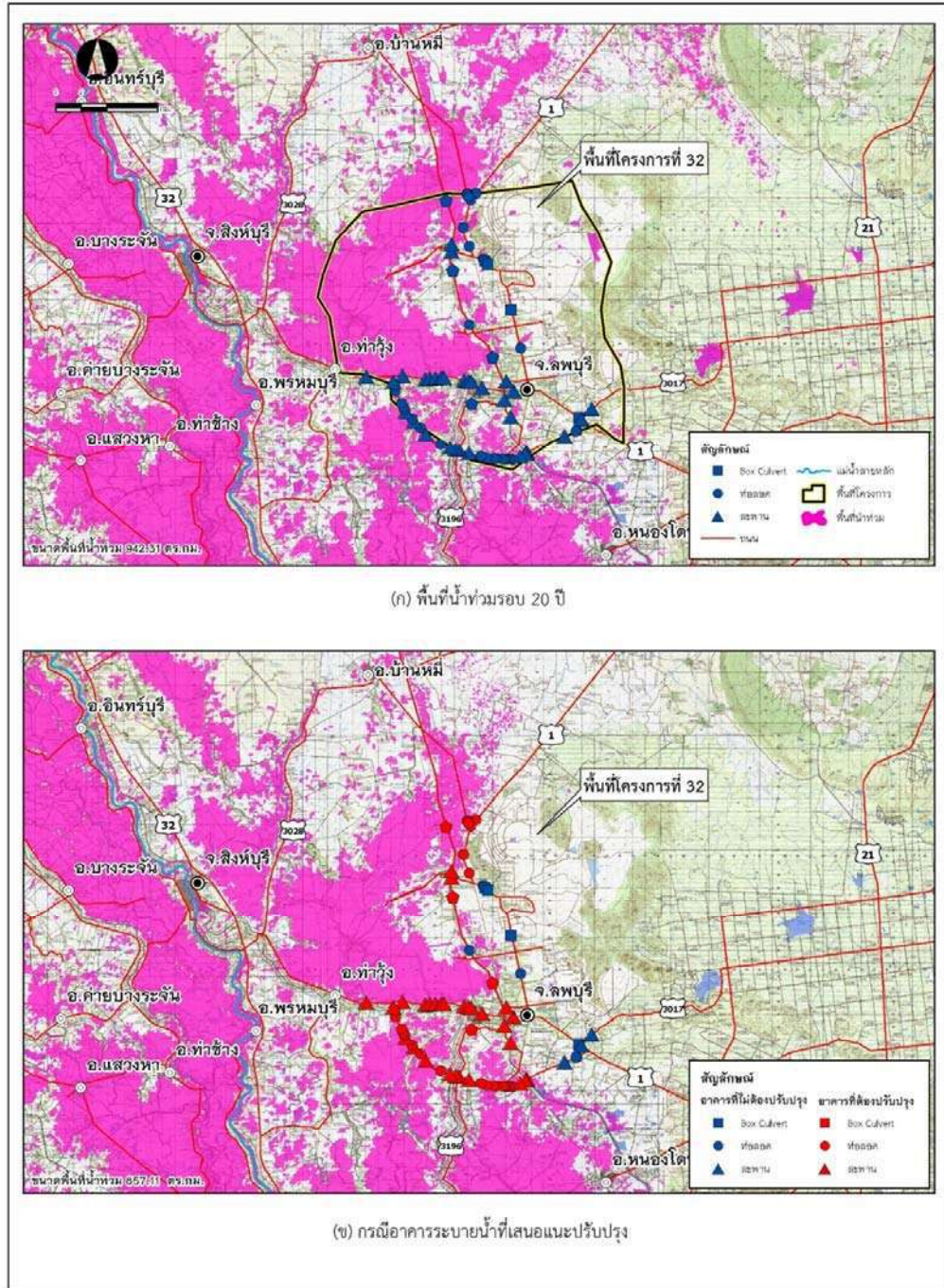
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 23

รูปที่ 8.4-5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23



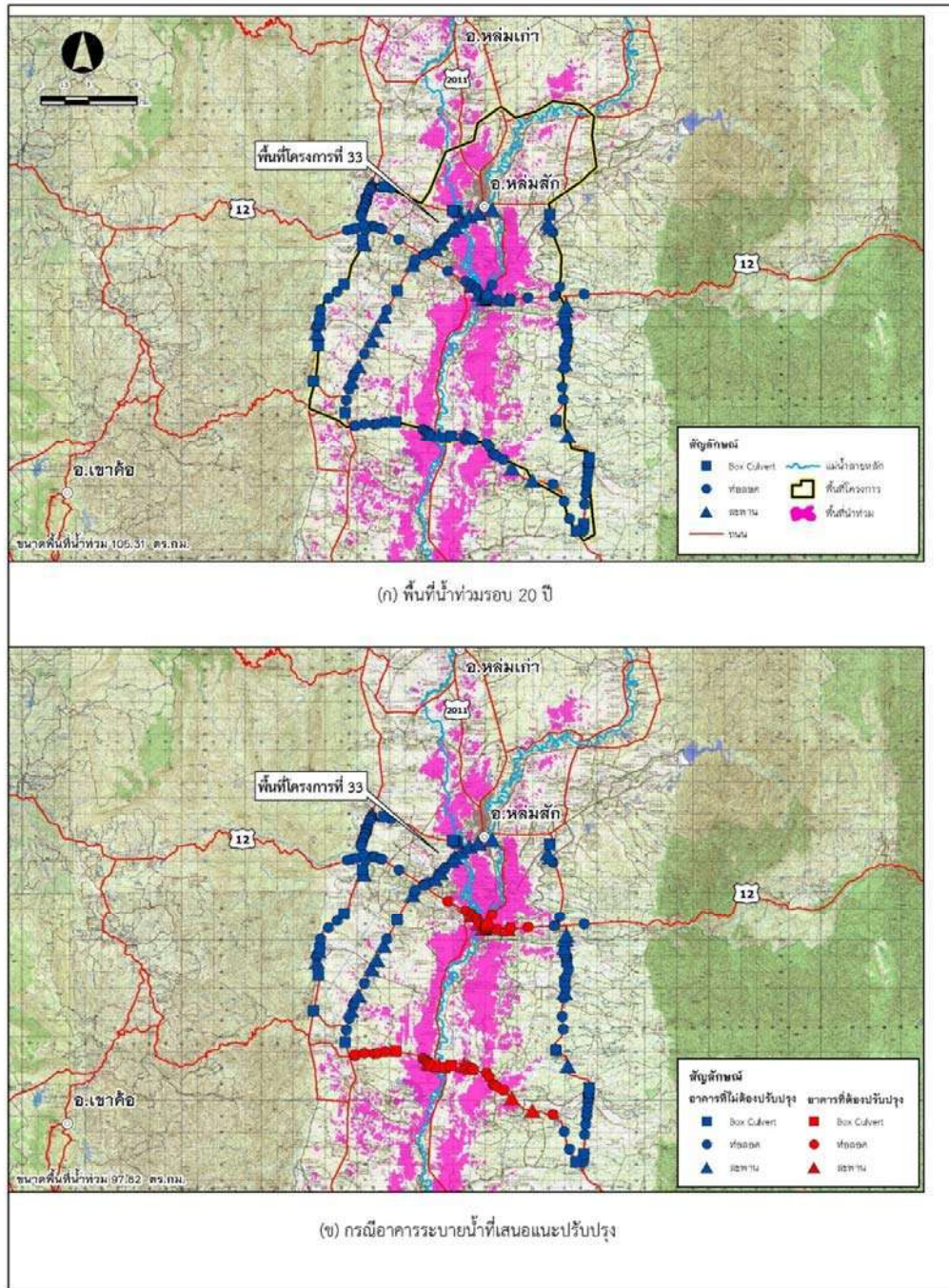
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 31

รูปที่ 8.4-6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31



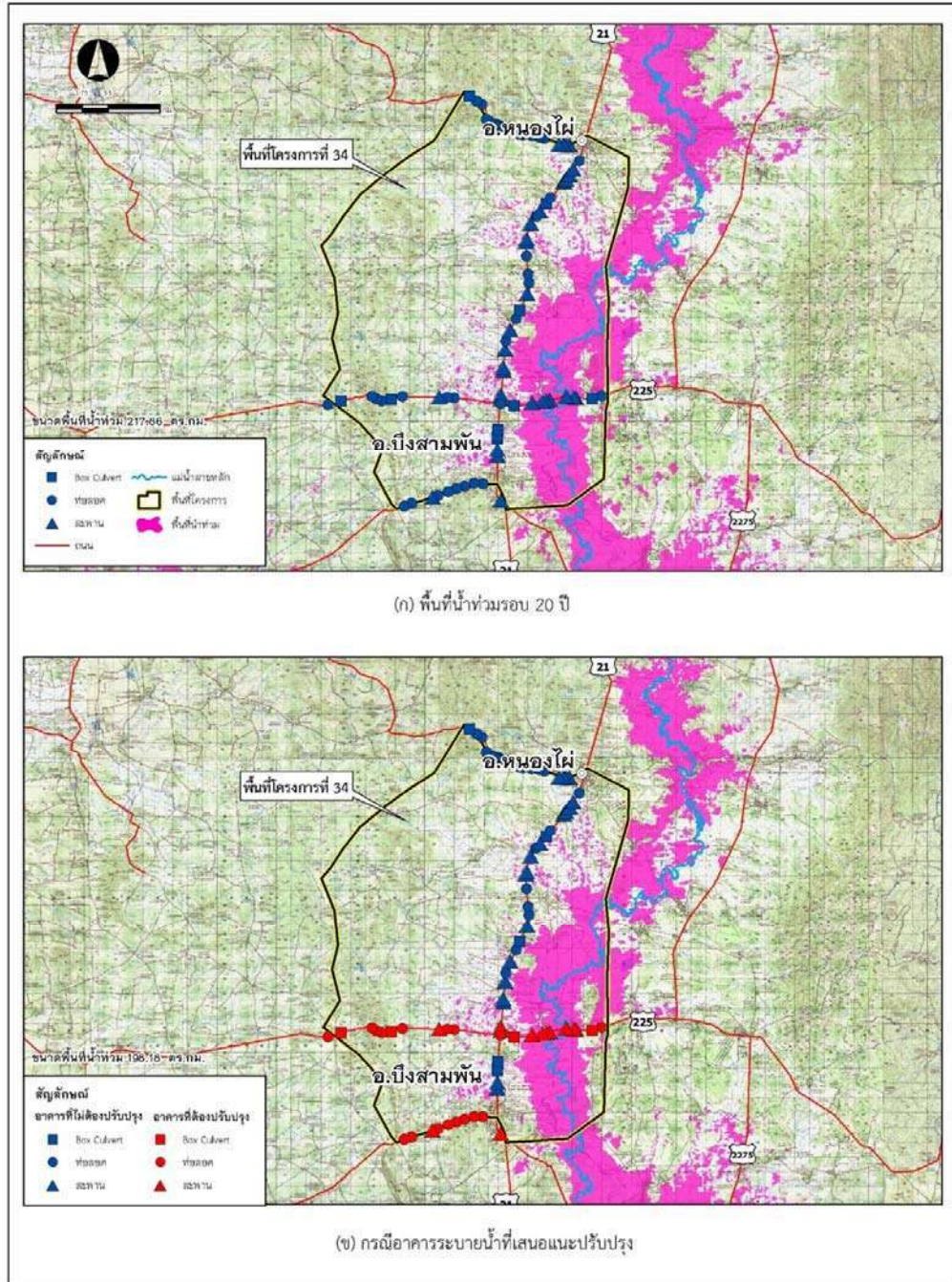
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 32

รูปที่ 8.4-7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32



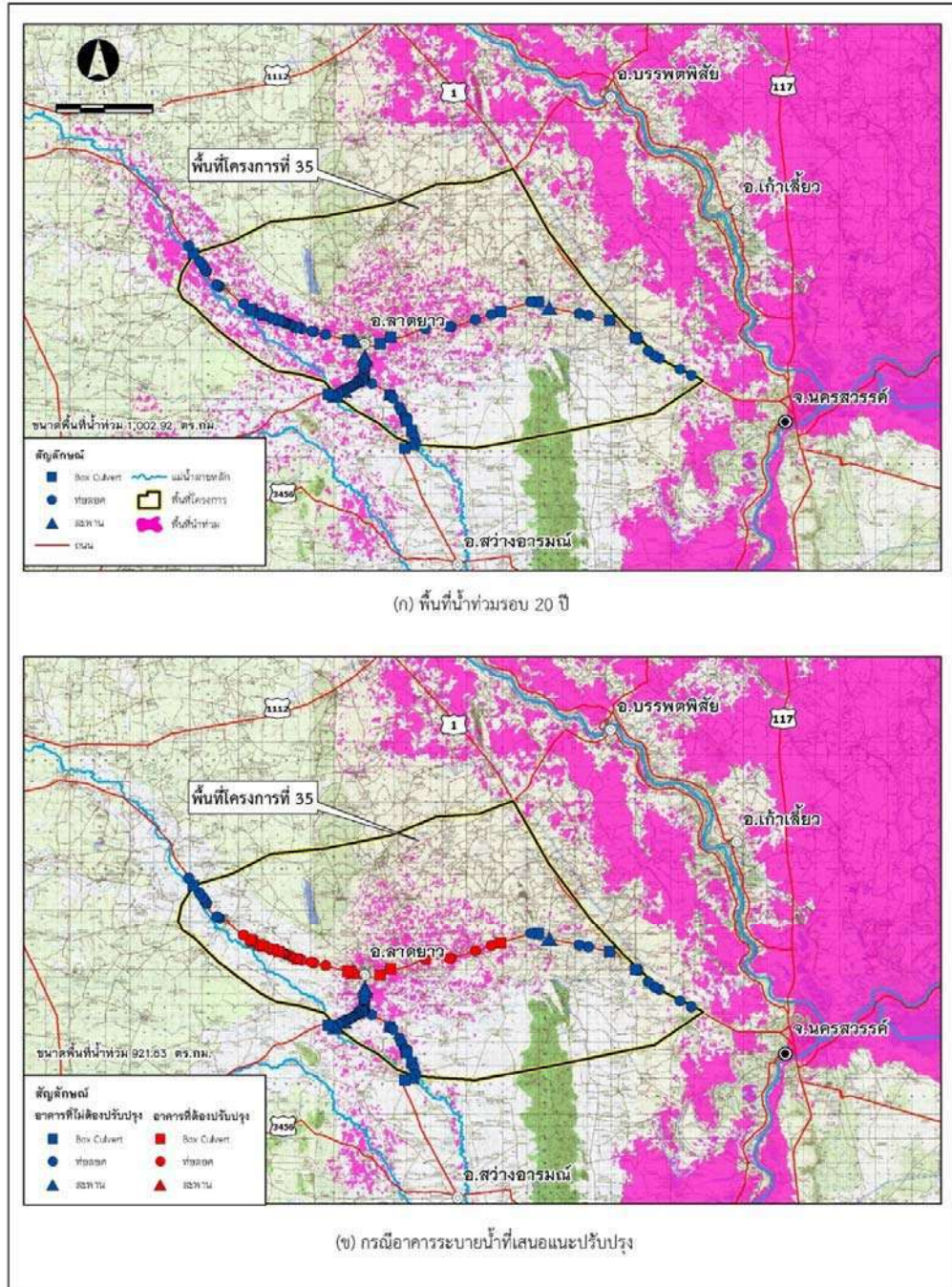
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 33

รูปที่ 8.4-8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33

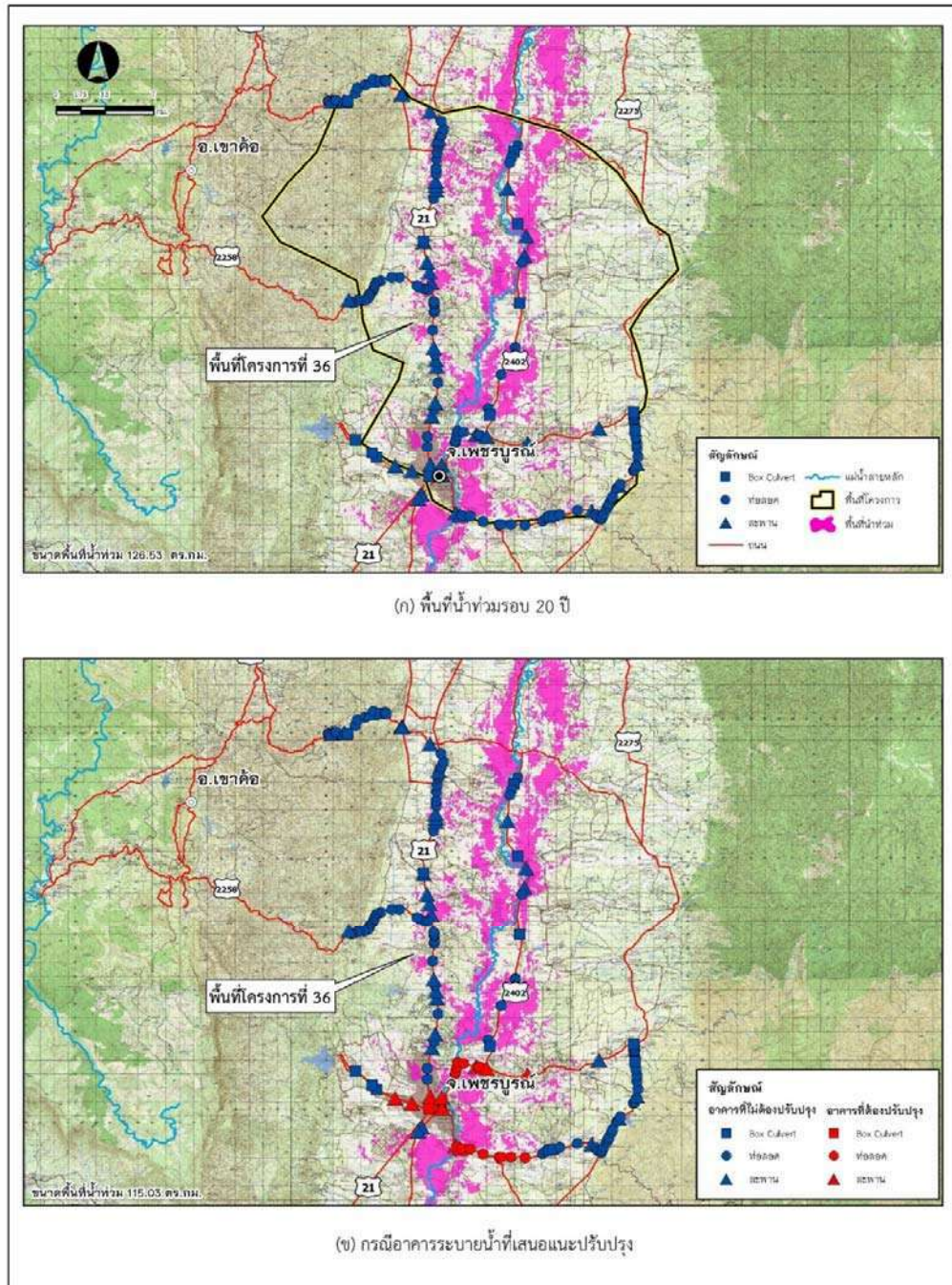


ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 34

รูปที่ 8.4-9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34

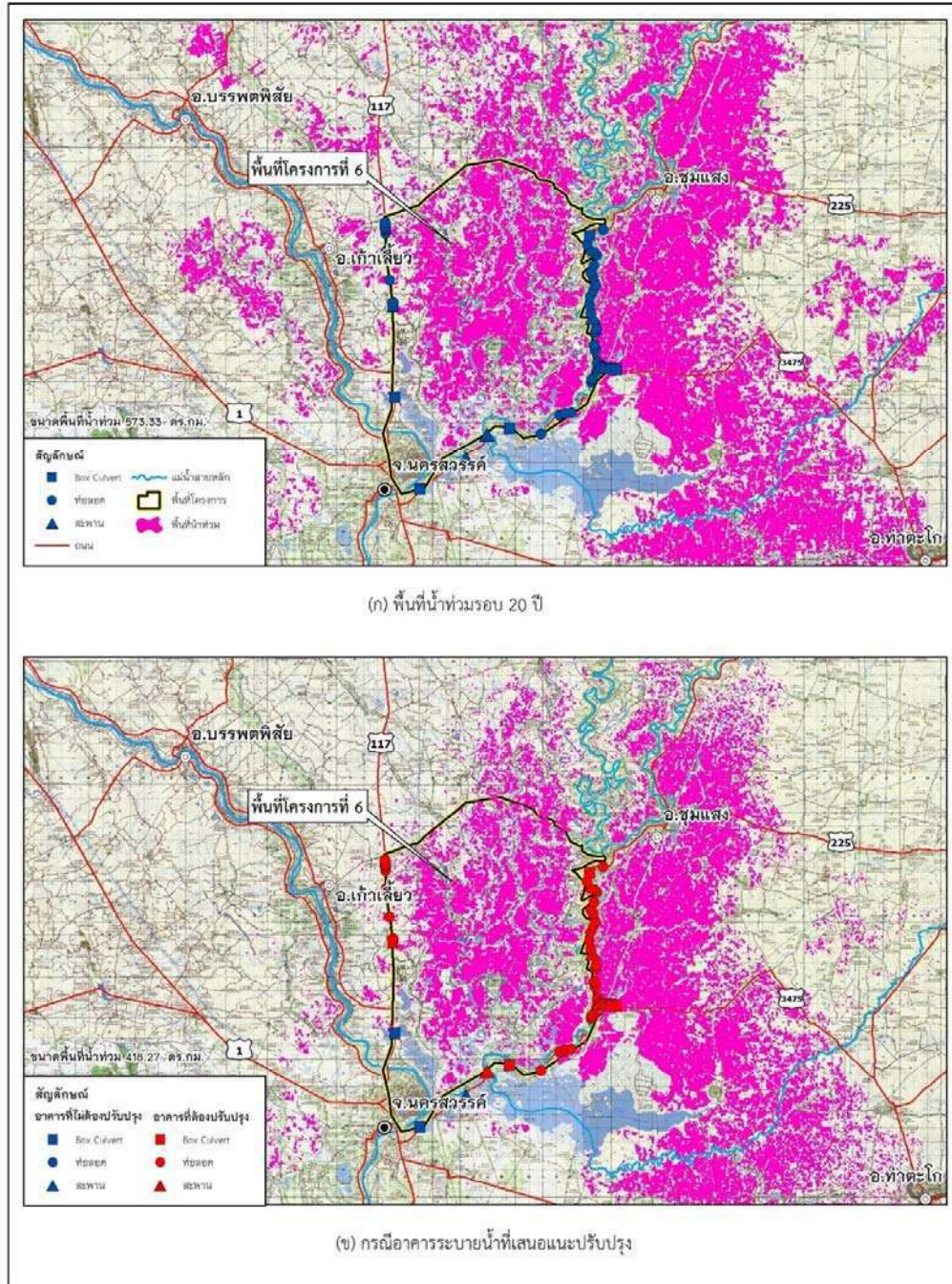


รูปที่ 8.4-10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35



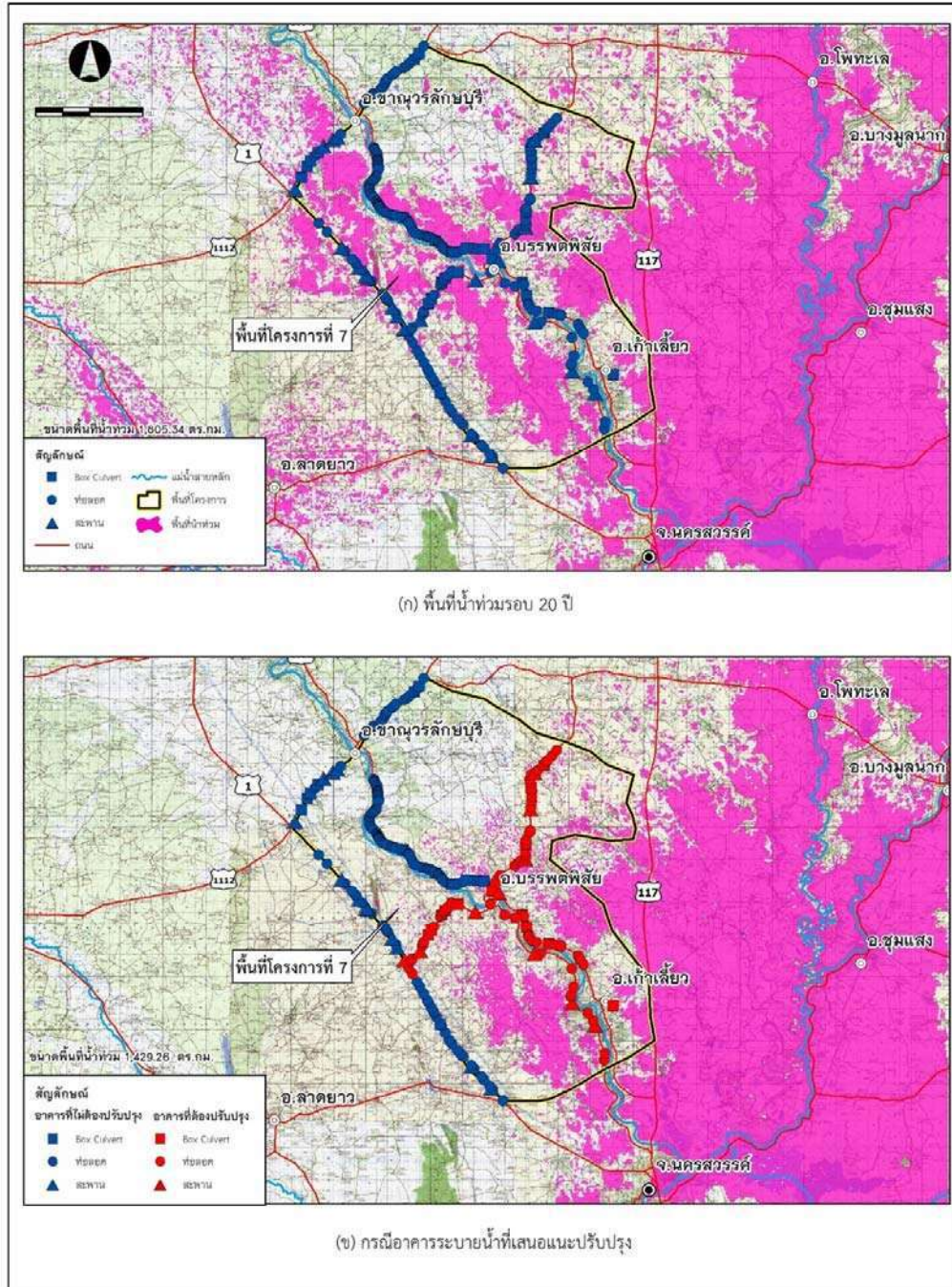
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 36

รูปที่ 8.4-11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับเฉพาะ Wingwall สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36



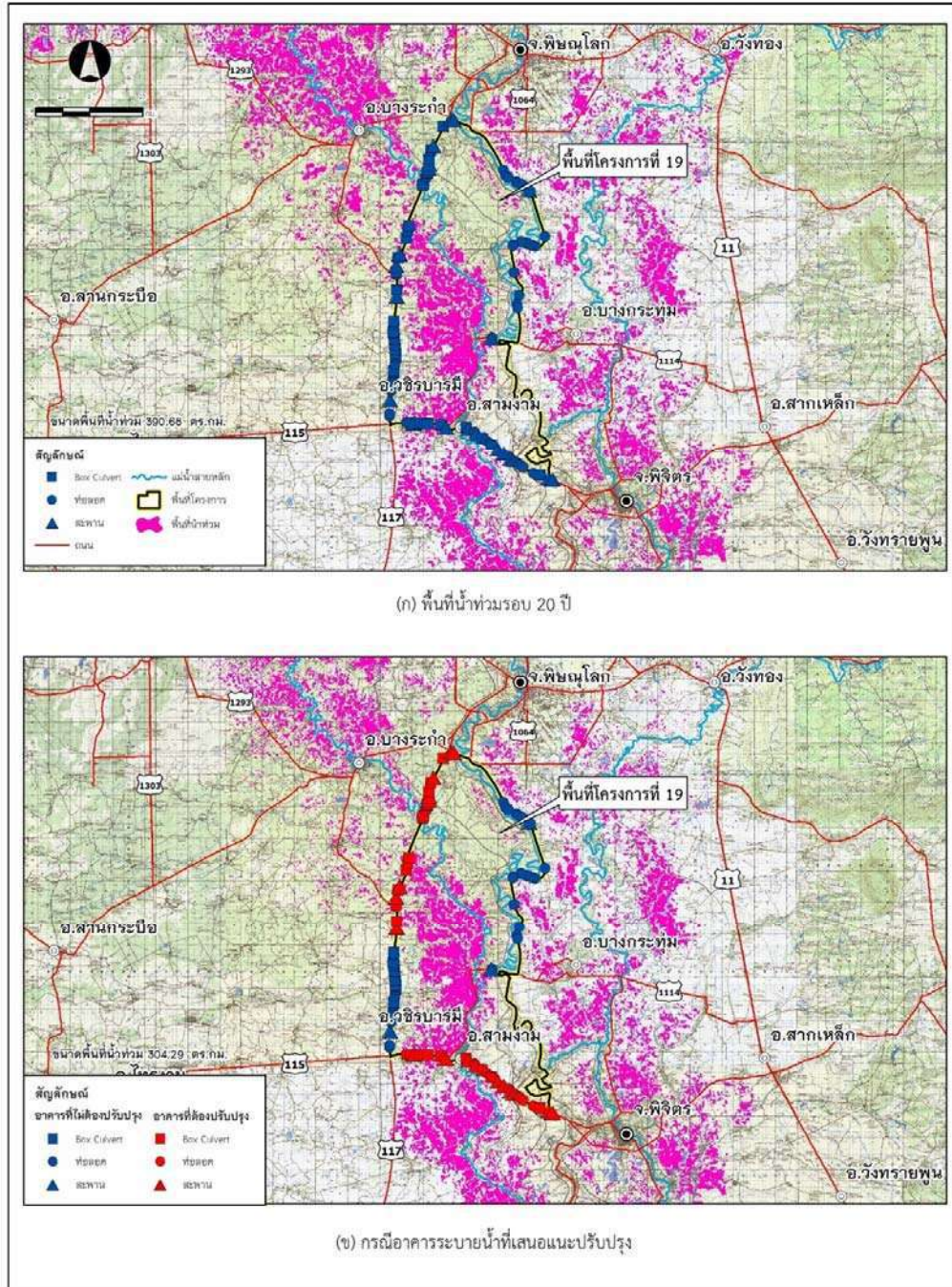
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 6

รูปที่ 8.4-12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ
สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6



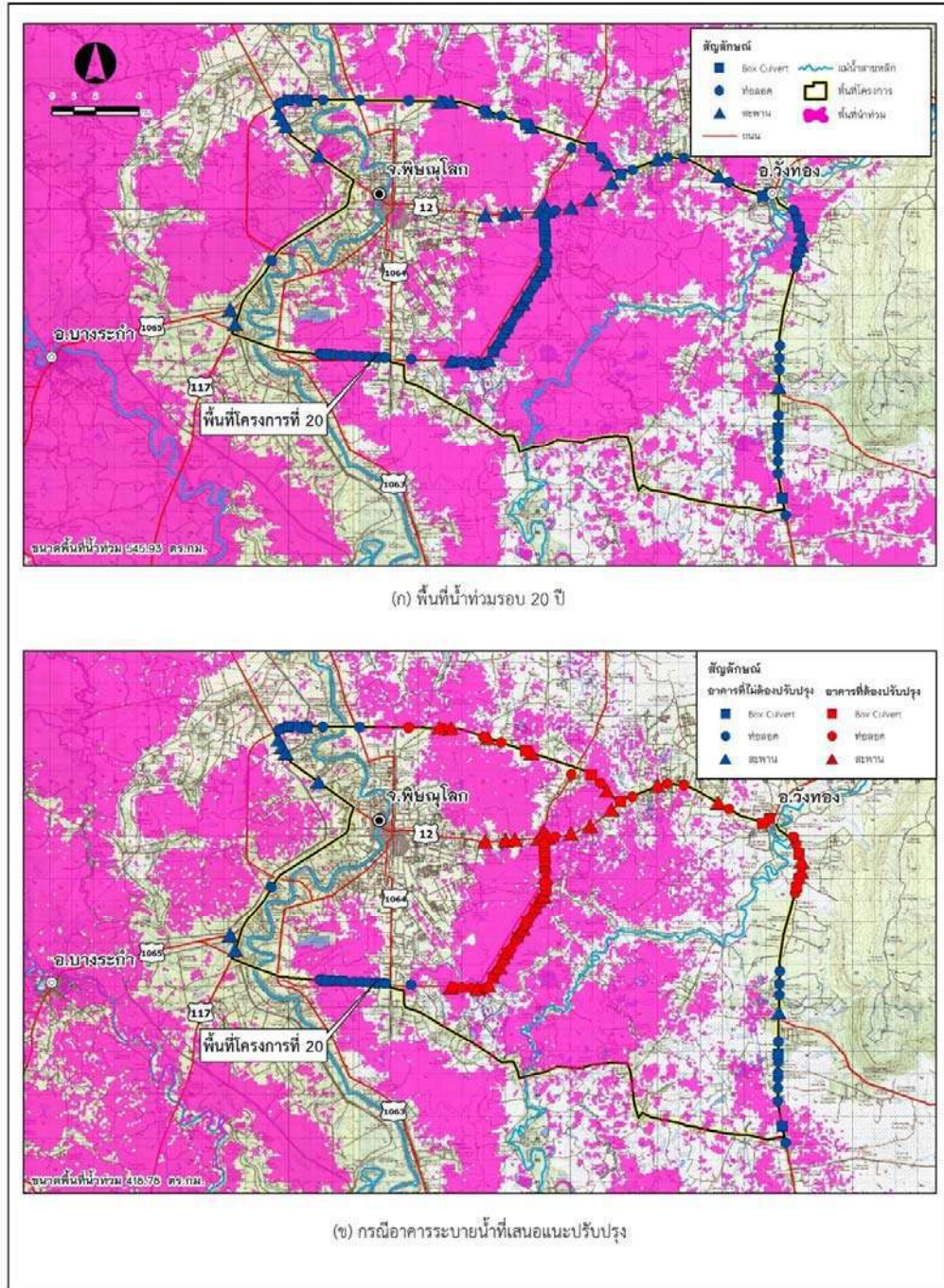
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 7

รูปที่ 8.4-13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7



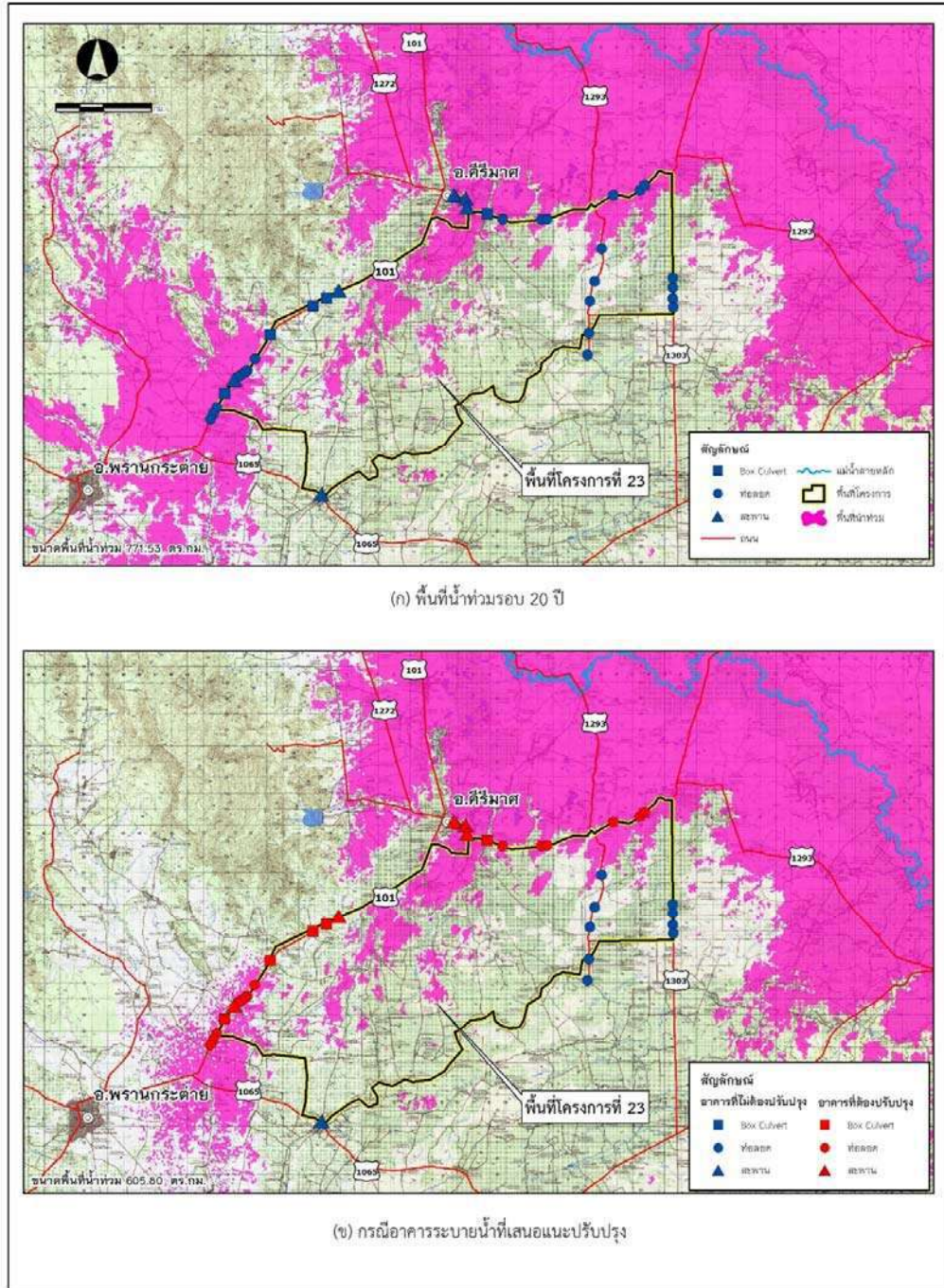
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 19

รูปที่ 8.4-14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ
สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19

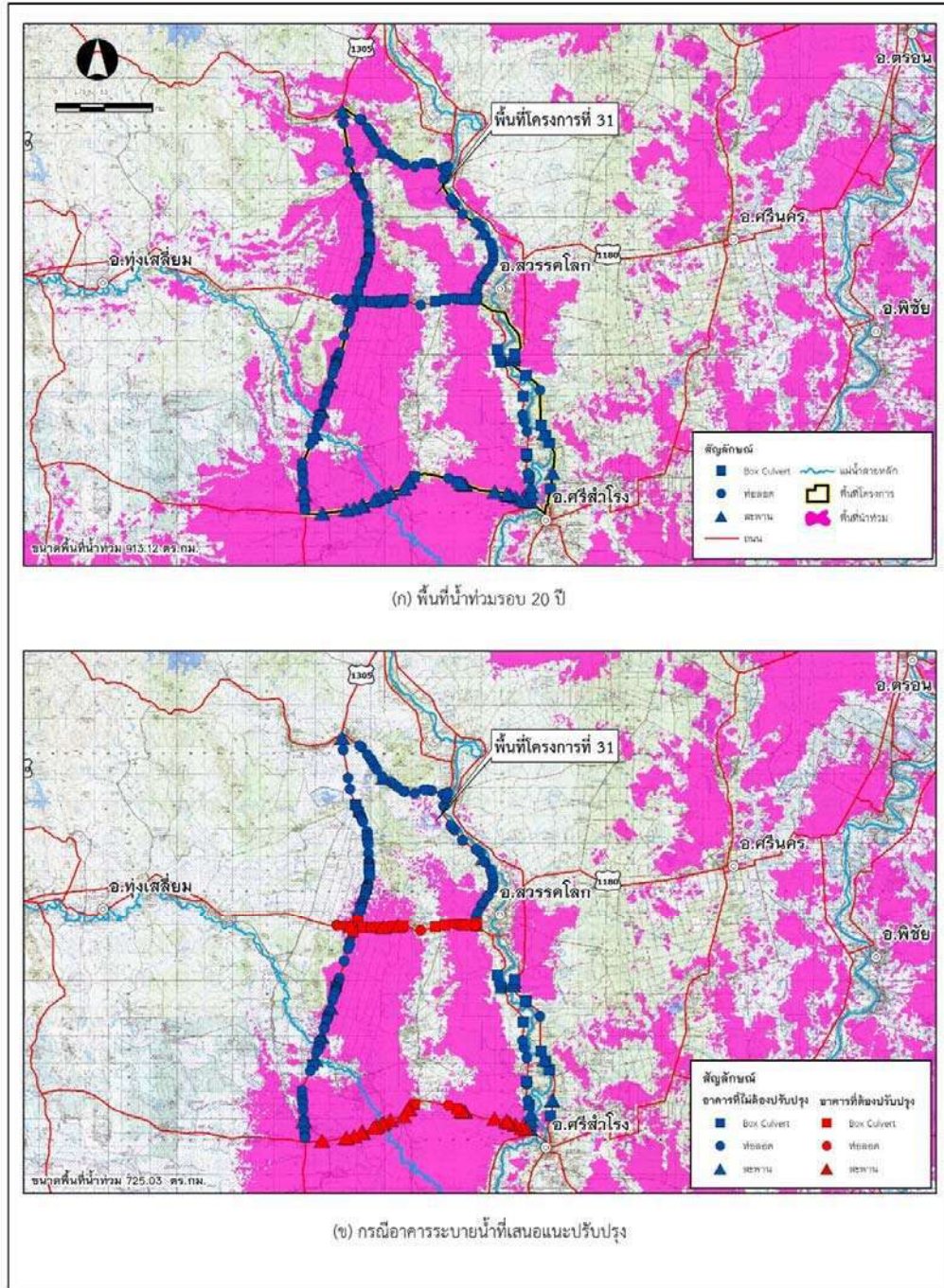


ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 20

รูปที่ 8.4-15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ
สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20

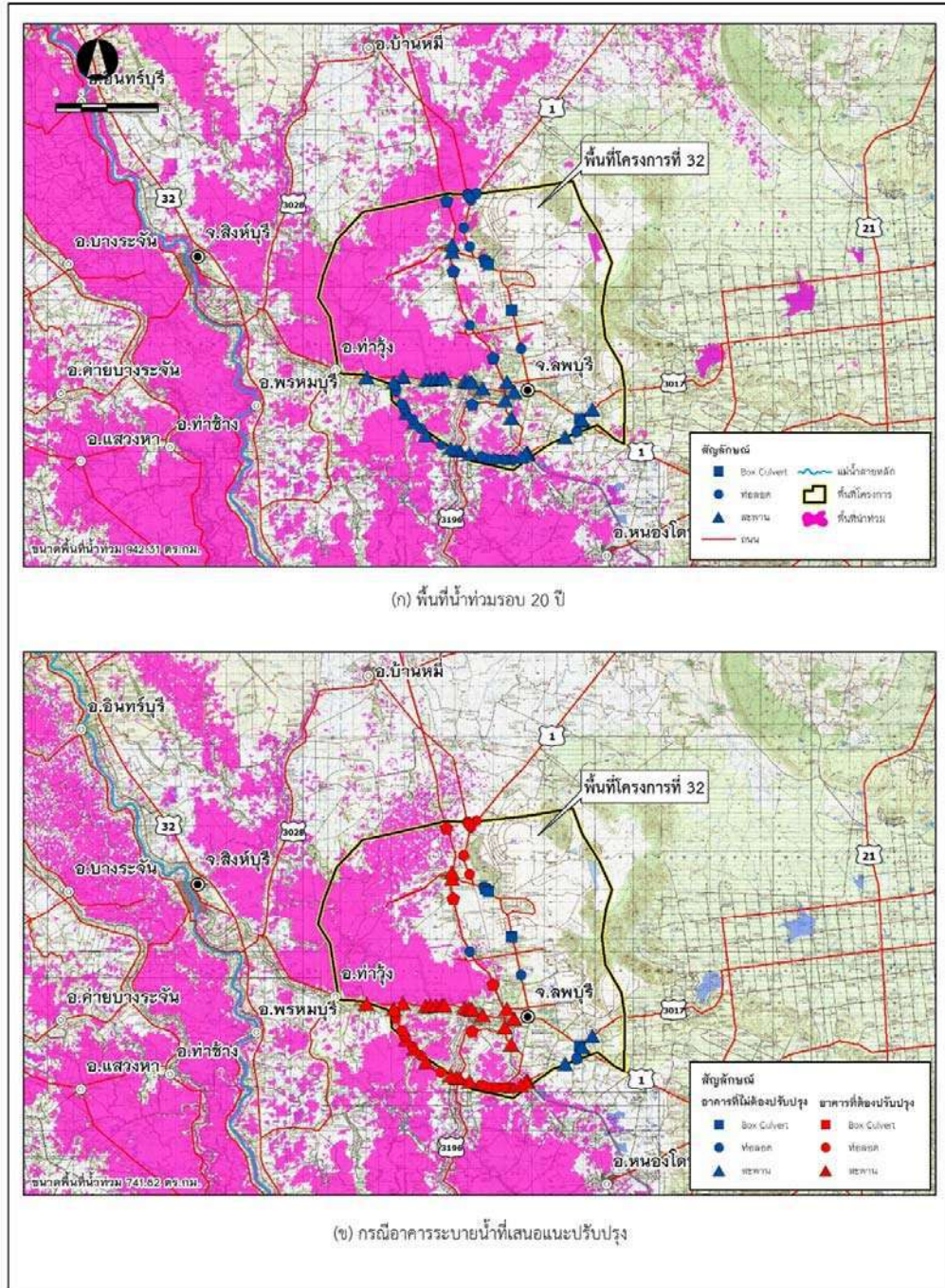


รูปที่ 8.4-16 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23



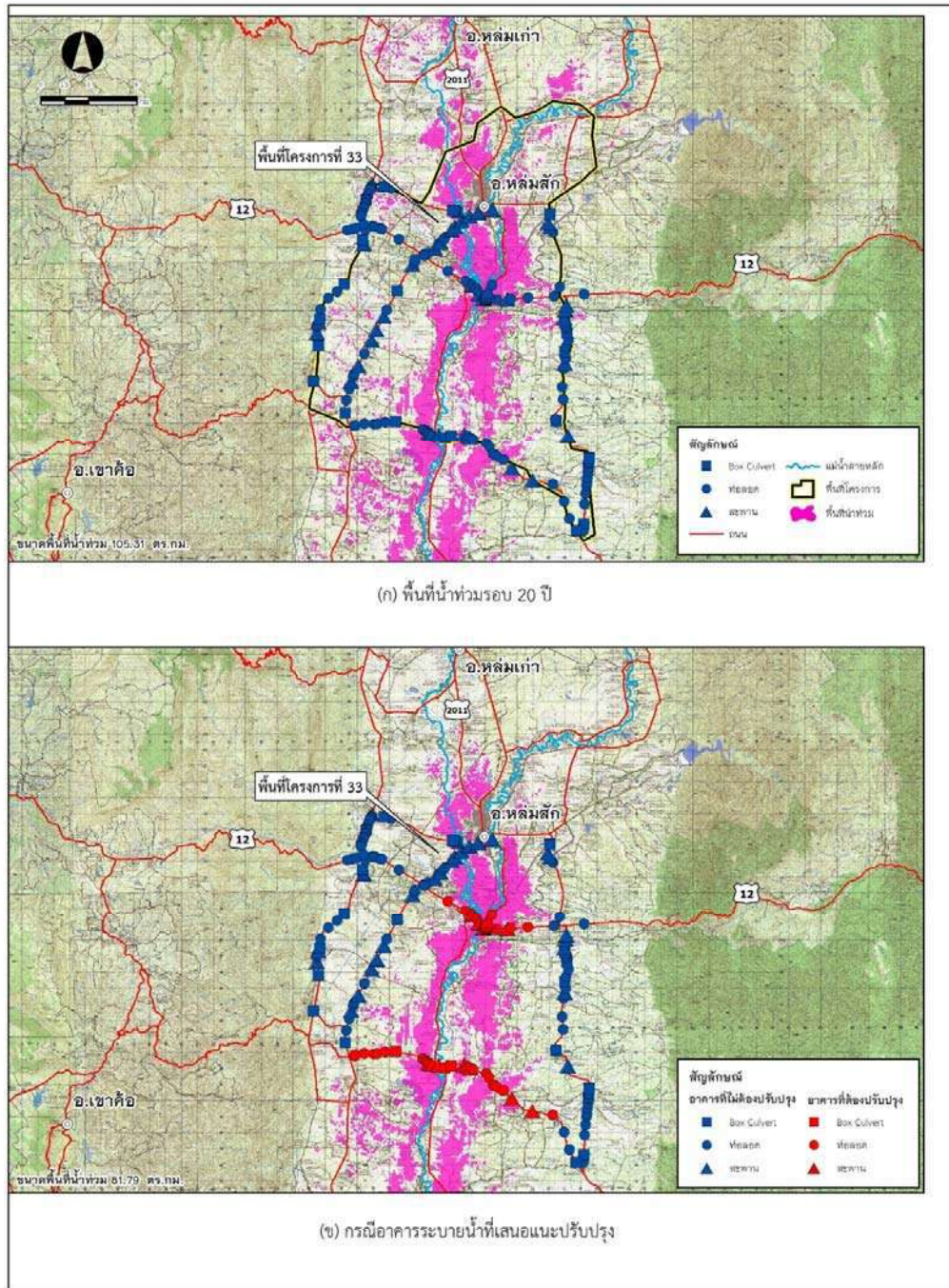
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 31

รูปที่ 8.4-17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31



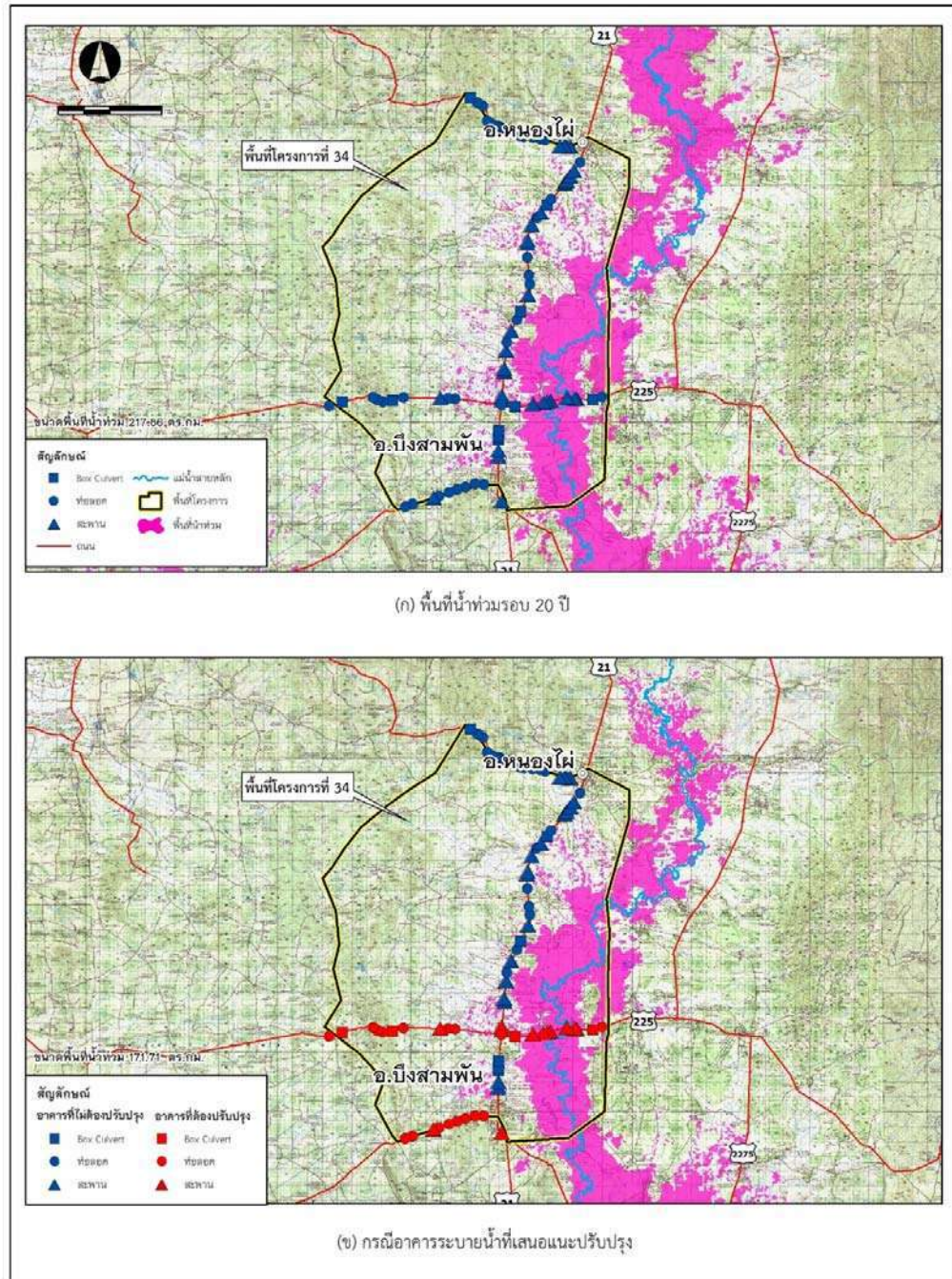
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 32

รูปที่ 8.4-18 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32



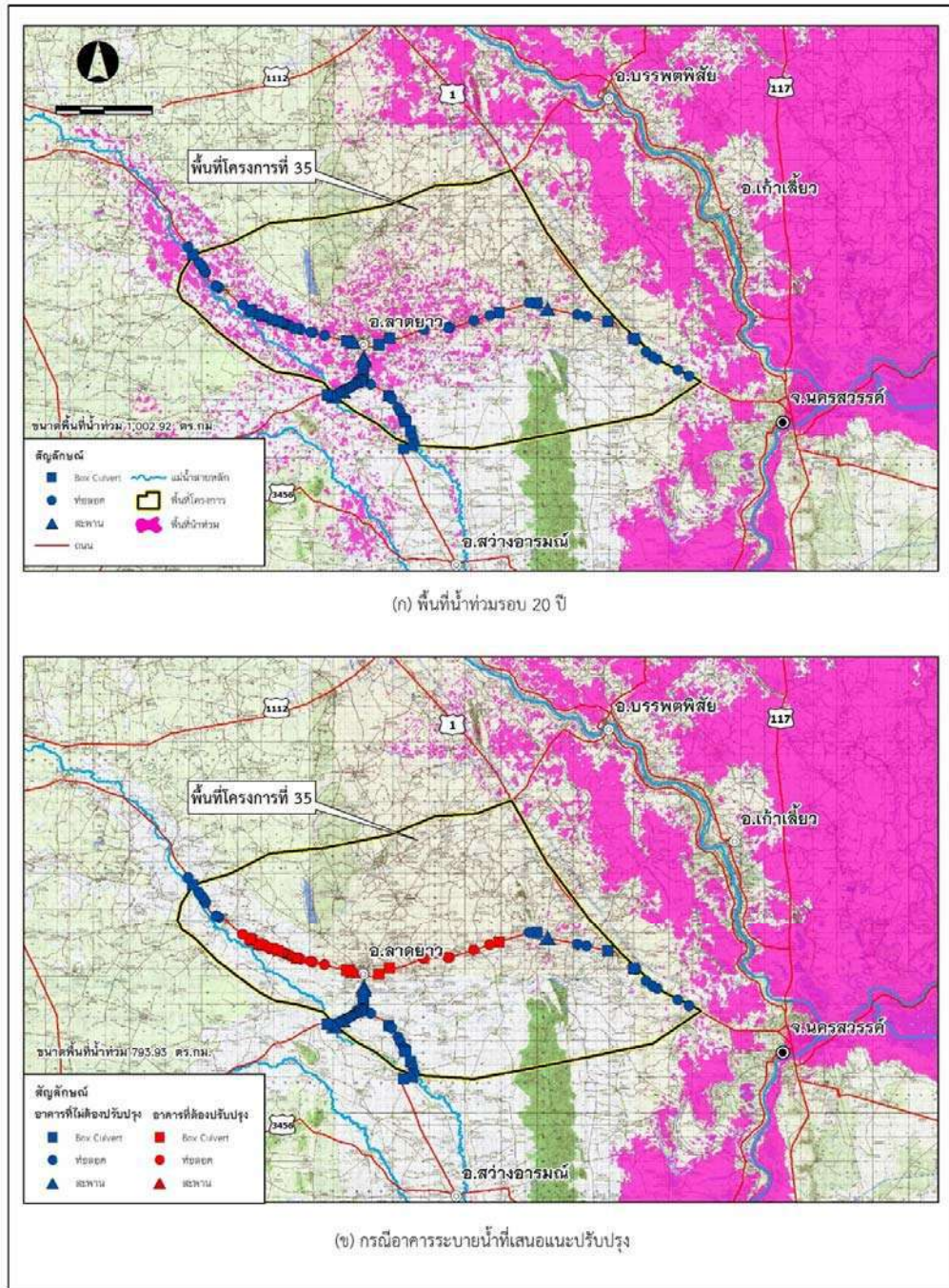
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 33

รูปที่ 8.4-19 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33



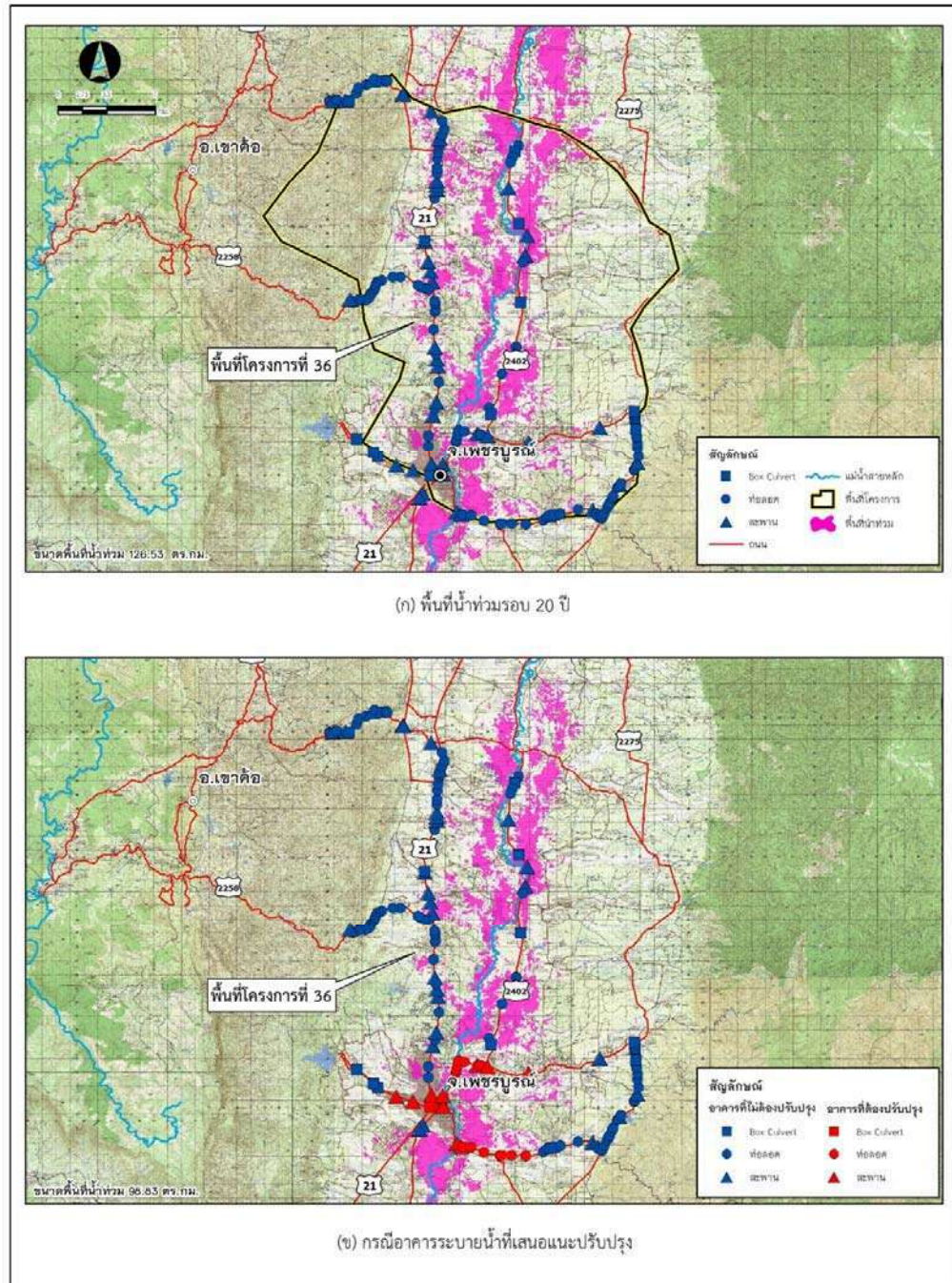
ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 34

รูปที่ 8.4-20 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ
สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34



ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 35

รูปที่ 8.4-21 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ
สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35



ผลการเปรียบเทียบแผนที่พื้นที่น้ำท่วมรอบ 20 ปี ของพื้นที่การศึกษาที่ 36

รูปที่ 8.4-22 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการระบายน้ำกรณีใช้แบบแนะนำและปรับขนาดอาคารระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36



บทที่ 9

การฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี

9. การฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี

9.1. การจัดประชุมอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี

9.1.1. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อให้วิทยากรนำเสนอความเป็นมา วัตถุประสงค์ และองค์ความรู้เบื้องต้นในด้านอุทกวิทยา ชลศาสตร์ และการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน
- 2) เพื่อฝึกถ่ายทอดองค์ความรู้ในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐานเบื้องต้น สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านอุทกวิทยา และชลศาสตร์ที่จำเป็นในการออกแบบอาคารระบายน้ำ
- 3) เพื่อนำเสนอผลการศึกษา การปรับปรุงวิธีการในการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ
- 4) เพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นถึงแนวทางการนำผลการศึกษาไปใช้ปฏิบัติจริงเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

9.1.2. หัวข้อการประชุม

สำหรับหัวข้อในการฝึกอบรม มีดังนี้

- | | | | |
|---|---|-----------|---------|
| 1 | ความเป็นมา วัตถุประสงค์และแนวทางการดำเนินงานของโครงการ | - ชั่วโมง | 30 นาที |
| 2 | ทฤษฎีและองค์ความรู้เบื้องต้นด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ | 1 ชั่วโมง | 30 นาที |
| 3 | แนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของกรมทางหลวง | - ชั่วโมง | 30 นาที |
| 4 | การแนะนำการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐานเบื้องต้น ในการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา และชลศาสตร์ | 1 ชั่วโมง | 30 นาที |



5	การนำเสนอผลการศึกษา การปรับปรุงวิธีการในการคำนวณ อัตราการไหลสูงสุด ในการออกแบบอาคารระบายน้ำและการ ประยุกต์ใช้	1 ชั่วโมง	- นาที
6	รับฟังความคิดเห็นจากผู้เข้าร่วมสัมมนา	ชั่วโมง	45 นาที
	รวม	5 ชั่วโมง	45 นาที

9.1.3. กลุ่มเป้าหมาย

บุคลากรของกรมทางหลวง จำนวนไม่น้อยกว่า 50 คน ซึ่งประกอบด้วยผู้แทนจากหน่วยงานต่างๆ ที่มีส่วน
เกี่ยวข้องกับการการออกแบบอาคารระบายน้ำดังนี้

- (1) สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพมหานคร)
- (2) สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)
- (1) สำนักก่อสร้างทางที่ 1
- (2) สำนักก่อสร้างทางที่ 2
- (3) สำนักก่อสร้างสะพาน
- (4) สำนักแผนงาน
- (5) สำนักอำนวยความปลอดภัย
- (6) สำนักบริหารบำรุงทาง
- (7) กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง



9.2. ผลการจัดประชุม

การจัดประชุมฝึกรวมถ่ายทอดเทคโนโลยี โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนน เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ ได้จัดขึ้นในวันจันทร์ที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2560 ณ ห้องจรัสเมือง 2 โรงแรม เดอะ ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร โดยมีผู้เข้าร่วมประชุม 53 คน ซึ่งกำหนดการของการจัดประชุม สัมมนาแสดง ดังรูปที่ 9.2-1 และบรรยากาศของการจัดสัมมนาแสดงดังรูปที่ 9.2-2 และสำหรับในส่วนของเอกสารจัดการประชุม แสดงได้ดังภาคผนวก ข.

สำหรับในส่วนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ จากผู้เข้าร่วมประชุม สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- สมการที่นำเสนอขึ้นสามารถเข้าใจได้ง่าย โดยเพียงแทนค่าตัวแปรซึ่งได้แก่ ปริมาณน้ำฝนและขนาดพื้นที่ตามประโยชน์การใช้ที่ดินแต่ละประเภทก็สามารถประเมินอัตราการไหลสูงสุดได้อย่างไรก็ตาม ในส่วนของการประเมินขนาดพื้นที่ของการใช้ที่ดินนั้น จำเป็นต้องมีพื้นฐานด้านการใช้งานโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ซึ่งในส่วนนี้วิศวกรหรือเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวง โดยส่วนใหญ่ยังไม่มีความชำนาญ ดังนั้นจึงขอเสนอแนะให้มีการจัดฝึกรวมการใช้งานโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการใช้งานจริง ซึ่งอย่างน้อยจะควรจะต้องใช้เวลาให้มากกว่า 1 วัน
- ในกรณีที่มีการฝึกรวมการใช้งานโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์จนกระทั่งวิศวกรหรือเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวง สามารถใช้งานโปรแกรมดังกล่าวได้แล้ว สิ่งที่จะต้องจัดเตรียมในลำดับถัดมา คือ ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ หรือ Shape File ทั้งนี้อาจจะพัฒนาและจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวไว้ในระบบฐานข้อมูลกลาง ซึ่งเจ้าหน้าที่ของกรมทางหลวงสามารถเข้าไปเชื่อมต่อและดาวน์โหลดข้อมูลมาใช้งานได้
- ต้องการให้มีการพัฒนาสมการในลักษณะเช่นเดียวกับที่ที่ปรึกษานำเสนอ แต่สามารถใช้ได้ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศ
- ผลการศึกษาของโครงการ มีการนำเสนอแนวทางการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่ปรับปรุงใหม่ ใดๆก็ตาม เพื่อให้ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดีและเป็นรูปธรรมและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ควรมีการพัฒนางานวิจัยต่อยอด โดยทดลองออกแบบและปรับปรุงแนวทางที่นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษาจริง จากนั้นจึงเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นของประสิทธิภาพการระบายน้ำ ระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุง



- ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นโปรแกรมประยุกต์เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง โดยโปรแกรมดังกล่าว ควรมีหลักการทำงานที่สำคัญ คือ เมื่อผู้ใช้งานทำการกำหนดตำแหน่งของอาคารระบายน้ำบนแผนที่แล้ว จากนั้นให้โปรแกรมคำนวณอัตราการไหลสูงสุดบนพื้นฐานของสมการที่พัฒนาขึ้นมาโดยอัติโนมติ หรืออาจจะพัฒนาให้ถ้าให้โปรแกรมเสนอแนะขนาดของอาคารระบายน้ำที่เหมาะสมมาให้ก็จะทำให้วิศวกรมีความสะดวกและประหยัดเวลาในการทำงานมากขึ้น



กำหนดการฝึกอบรม
โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนน เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ
วันจันทร์ที่ ๒๕ กันยายน พ.ศ. ๒๕๖๐
ณ ห้องจรัสเมือง ๒ โรงแรม เดอะทวิน ทาวเวอร์ ถนนรองเมือง กรุงเทพมหานคร

๐๘.๐๐ - ๐๘.๓๐ น.	ลงทะเบียนรับเอกสาร
๐๘.๓๐ - ๐๘.๔๕ น.	กล่าวเปิดการฝึกอบรม
๐๘.๔๕ - ๐๙.๔๕ น.	โดย ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ความเป็นมา วัตถุประสงค์และแนวทางการดำเนินงานของโครงการ โดย รศ.ดร.ฉัตรดนัย จิระเดชะ
๐๙.๔๕ - ๑๐.๐๐ น.	พักรับประทานอาหารว่าง
๑๐.๐๐ - ๑๑.๓๐ น.	ทฤษฎีพื้นฐานและองค์ความรู้เบื้องต้นทางด้านอุทกวิทยาและ ชลศาสตร์ ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ โดย ดร.กฤษณ์ สุกิตย์
๑๑.๓๐ - ๑๒.๐๐ น.	แนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของ กรมทางหลวง โดย ดร.กฤษณ์ สุกิตย์
๑๒.๐๐ - ๑๓.๐๐ น.	รับประทานอาหารกลางวัน
๑๓.๐๐ - ๑๔.๓๐ น.	การแนะนำการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐานเบื้องต้น ในการ วิเคราะห์ด้านอุทกวิทยา และชลศาสตร์ โดย นาย.สันติ ศรีทองสม
๑๔.๓๐ - ๑๔.๔๕ น.	พักรับประทานอาหารว่าง
๑๔.๔๕ - ๑๕.๔๕ น.	การนำเสนอผลการศึกษา การปรับปรุงวิธีการในการคำนวณอัตรา การไหลสูงสุด ในการออกแบบอาคารระบายน้ำและการประยุกต์ใช้ โดย ดร.กฤษณ์ สุกิตย์ และนาย.สันติ ศรีทองสม
๑๕.๔๕ - ๑๖.๓๐ น.	รับฟังความคิดเห็นจากผู้เข้าร่วมสัมมนาเพื่อ สรุปความเป็นไปได้ใน การนำหลักการและวิธีการที่นำเสนอไปใช้ในการปรับปรุงการ ออกแบบอาคารระบายน้ำ ของกรมทางหลวง

รูปที่ 9.2-1 กำหนดการประชุมสัมมนา



รูปที่ 9.2-2 บรรยากาศการฝึกอบรม



บทที่ 10

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1. สรุปผลการดำเนินงาน

ในปัจจุบันการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำผ่านถนนของกรมทางหลวง ซึ่งได้เสนอแนะไว้ในคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง ปี พ.ศ. 2554 มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งได้แก่ วิธี Rational Method วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และ วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) เป็นต้น ซึ่งการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น จะมีข้อจำกัดในเรื่องการปรับปรุงข้อมูลให้มีความเป็นปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการศึกษารังนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และสร้างสมการการประเมินอัตราการไหลสูงสุดในรูปแบบใหม่ที่สามารถสะท้อนอิทธิพลจากลักษณะทางด้านกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำได้มากขึ้น และสามารถนำมาใช้กับข้อมูลที่เป็นปัจจุบันได้ทันที โดยในขั้นตอนของการดำเนินงานได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษานำร่องจำนวน 11 พื้นที่ ในเขตภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองดังกล่าว จะได้แบบจำลองมาทำการประเมินอัตราการไหลสูงสุด สำหรับอาคารระบายน้ำในปัจจุบันของกรมทางหลวง จำนวนมากกว่า 1,400 แห่ง จากนั้น นำข้อมูลลักษณะทางด้านกายภาพซึ่งประกอบด้วย การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลาดชันของพื้นที่ ประเภทของชุดดิน ปริมาณฝน และขนาดของพื้นที่รับน้ำ สำหรับอาคารระบายน้ำแต่ละแห่ง มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางด้านสถิติ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า อัตราการไหลสูงสุด มีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้น กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในวันนั้น ขนาดพื้นที่ป่าไม้ ที่อยู่อาศัย และพื้นที่แหล่งน้ำ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.76 จากนั้นนำสมการที่ได้ไปตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่า สมการที่ปรับปรุงให้ผลการประเมินขนาดของพื้นที่น้ำท่วมใกล้เคียงกับข้อมูลจริงจากภาพถ่ายดาวเทียมมากกว่า การใช้คำนวณอัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีการปัจจุบัน (วิธี Rational Method)



นอกจากนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ยังมีการเสนอแนะแบบแนะนำในการปรับปรุงอาคารระบายน้ำ โดยแบบดังกล่าวได้มีการปรับปรุงมุมของ Wingwall ของท่อเหลี่ยม จากเดิม 15 องศา เป็น 30 องศา และของท่อกลมจากเดิม 30 องศา เป็น 45 องศา และทดลองนำไปคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้พบว่า กรณีที่ปรับปรุงเฉพาะ Wingwall อย่างเดียว จะทำให้ขนาดของพื้นที่น้ำท่วมลดลงเฉลี่ยร้อยละ 7.38 แต่หากมีการปรับทั้งรูปแบบ Wingwall และขนาดอาคารระบายน้ำ จะทำให้ขนาดของพื้นที่น้ำท่วมลดลงร้อยละ 22.06 โดยตำแหน่งของอาคารระบายน้ำที่ควรจะต้องปรับปรุง ในพื้นที่ศึกษานำร่องทั้ง 11 พื้นที่ มีทั้งหมด 546 ตำแหน่ง

และในขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินงานในโครงการนี้ ได้มีการถ่ายทอดองค์ความรู้จากโครงการผ่านทางการประชุมฝึกอบรม การจัดบทความทางวิชาการ และการจัดทำวีดิทัศน์เพื่อเผยแพร่ผลการดำเนินงาน

10.2. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่สำคัญจากการดำเนินงานในโครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนน เพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ สามารถแสดงได้ดังนี้

- 1) การดำเนินงานของโครงการนี้ได้ผลลัพธ์ที่สำคัญประการหนึ่งคือ สมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่ปรับปรุงขึ้นใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของลักษณะทางกายภาพในพื้นที่มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง สามารถแก้ไขปัญหาน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามวิศวกรผู้ที่จะนำสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่เสนอแนะไปใช้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีความรู้ขั้นพื้นฐานในการประยุกต์ใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) หรือมีโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ไว้ใช้งาน เนื่องจากจำเป็นต้องประเมินขนาดของพื้นที่รับน้ำตลอดจนสัดส่วนของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และชนิดของดิน ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการประยุกต์ใช้สมการดังกล่าว ดังนั้นจึงเสนอแนะให้กรมทางหลวงมีการจัดหาโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ไว้เพื่อใช้งาน รวมถึงมีการจัดฝึกอบรมให้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องอย่างจริงจัง เพื่อให้บุคลากรเหล่านี้มีความรู้ความสามารถและสามารถนำผลการศึกษาของโครงการไปใช้ให้เป็นรูปธรรมต่อไป
- 2) สมการการไหลสูงสุดที่พัฒนาขึ้นมีพื้นฐานมาจากการประเมินอัตราการไหลสูงสุดและลักษณะทางกายภาพในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในภูมิภาคอื่นๆ เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นหากต้องการจะใช้สมการลักษณะเดียวกันในพื้นที่อื่นๆ จึงจำเป็นต้องนำแนวทางการดำเนินงานในโครงการนี้ ไปทำการศึกษาและวิเคราะห์เพิ่มเติม โดยใช้ข้อมูลตามลักษณะกายภาพของพื้นที่นั้นๆ ต่อไป และถ้าหากในอนาคต มีการศึกษาครอบคลุมทั่วทั้งภูมิภาคของประเทศไทย ก็สามารถที่จะนำผลการศึกษาทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกันอีกครั้ง เพื่อหาชุดสมการที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานที่ครอบคลุมได้ทั่วประเทศ ต่อไป



- 3) ผลการดำเนินงานของโครงการโดยเฉพาะการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด สามารถนำมาพัฒนาต่อยอดงานวิจัย โดยจัดทำเป็นโปรแกรมประยุกต์หรือระบบช่วยตัดสินใจ ในการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวงได้ โดยโปรแกรมที่จะพัฒนาขึ้น อาจให้ผู้ใช้งานกำหนดตำแหน่งอาคารระบายน้ำบนแผนที่ จากนั้นโปรแกรมจะนำข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ที่จัดเก็บในระบบฐานข้อมูลกลาง มาประเมินค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสมการ จากนั้นจึงทำการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดแบบอัตโนมัติ หรือโปรแกรมอาจจะเสนอแนะเป็นแบบการก่อสร้างที่เหมาะสมให้กับผู้ใช้งานนำไปใช้เพื่อการออกแบบรายละเอียดต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง 2554 คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เล่มที่ 1
- กรมทางหลวง 2554 คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เล่มที่ 2
- ชนะ บุญญสิริกุล, 2544. “แนวทางการจัดการอ่างเก็บน้ำในช่วงน้ำหลาก”. การประชุมวิชาการ วิศวกรรมแหล่งน้ำ
แห่งชาติครั้งที่ 1, วิทยาลัยการชลประทาน นนทบุรี.
- ภาณุพงษ์ ทีฆบุญญา (2558). การจัดทำแผนที่น้ำท่วมเชิงด้วยแบบจำลอง Mike flood : กรณีศึกษาลุ่มน้ำลำตะคอง.
วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- วีระพล แต่สมบัติ. 2531. อุทกวิทยาประยุกต์ (Applied Hydrology). ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วรารุช วุฒิมณีชัย. 2545. อุทกวิทยาทางวิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- วิษุวัตต์แต่สมบัติ และสุประภาพร พัฒนสิงห์เสถียร. “การศึกษาการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเลยด้วยแบบจำลองระบบ
ลุ่มน้ำ (Flood Mitigation Study in Nam Loei river basin using river basin modeling)” การประชุม
วิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 3 ณ โรงแรมรอยัลฮิลล์กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์ สปา จังหวัดนครนายก
ระหว่างวันที่ 6-7 สิงหาคม 2552
- สนิท วงษา และยาสุยภูชิมิซี, 2555, “การประยุกต์ใช้โปรแกรม Nays2D Flood ในการจำลอง สถานการณ์น้ำท่วม
ใหญ่ภาคกลางของประเทศไทยปี2554”, รายงานความคืบหน้าการ แก้ปัญหาสถานการณ์น้ำท่วมใหญ่ภาค
กลางปี 2554.
- สนิท วงษาและยาสุยภูชิมิซี, 2552, “การประยุกต์ใช้โปรแกรม Ric-Nays ในการคำนวณด้านชลศาสตร์และ
พลวัตพื้นฐานท้องน้ำ”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติครั้งที่ 3 , 6-7 สิงหาคม, จ.นครนายก
, หน้า 106-115.
- สวัสดี หาญกุดตุ้ม 2548 การศึกษาการลดน้ำหลากสูงสุดในลุ่มน้ำชีตอนบน โดยใช้อ่างเก็บน้ำด้วยแบบจำลอง
HEC-HMS.วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุธี อังคะศิริกุล. (2545). การประเมินกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าจากข้อมูลพายุฝนหลายลูก และวิเคราะห์หาความไม่
แน่นอน โดยวิธีบูตสเตรป .วิทยานิพนธ์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- อริยะ อินทรา (2555). การศึกษาระบบป้องกันและบรรเทาอุทกภัยกรณีศึกษาลุ่มน้ำชีตอนบน ในเขตจังหวัดชัยภูมิ
ด้วยแบบจำลอง MIKE FLOOD, การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขต
กำแพงแสน ครั้งที่ 9, P.1706-1716.



- อารียา ฤทธิมา, คุณากร เปี่ยมฟ้า, ณัฐ ูไทย และอรุณเดช จันทรมานะ (2556). การปรับปรุงการวิเคราะห์ฝน
ออกแบบของพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 24 ฉบับที่ 4
- Cadus, Sebastian and Poetsch, Marco. 2012. Dynamic modelling of urban rainfall runoff and drainage
coupling DHI MIKE URBAN and MIKE FLOOD
- Powell, J. W. 2012. Watershed. Defenition of a Watershed. Website.
<http://www.acsu.buffalo.edu/~yuvaldal/watershed.html>
- PUB, Singapore National Water Agency, 2009.
- Soil Conservation Service, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, U. S. Dept. of
Agriculture, available from U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1972.
- State of Florida Department of Transport. 2004. Drainage Handbook Culvert Design.
<https://www.pub.gov.sg/Lists/AppendicesDrawings/Attachments/5/app2.pdf>
- DHI, 2012 Manual of MIKE Flood



ภาคผนวก ก.
รายการคำนวณการจัดทำแบบแนะนำ

project :

Trainsion Pipe Dai.60

dimension

ความสูงกำแพง =	0.95	m	covering =	5	cm
ระดับดินสูง =	0.9	m	d _{กำแพง} =	10	cm
ความหนากำแพง =	15	cm	d _{พื้น} =	10	cm
ความหนาพื้น =	15	cm	φ =	30	degree
ความกว้างพื้น =	0.75	m	Ka =	0.333	
f' _c =	250	kg/cm ²	soil : surcharge =	0	kg/m ²
f _y =	1700	kg/cm ²	unit weight =	1900	kg/m ³
β =	0.85		LL =	400	kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	0.00	0.45	0.00
soil	121.50	0.30	36.45
water	405.00	0.30	121.50
	526.5	คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น Mu =	157.95

Vu = 737.10 kg

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 7,123.03 \text{ kg}$ OK

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c \cdot 6120}{f_y \cdot (6120 + f_y)} = 0.102$$

หาปริมาณเหล็กเสริม

กำแพง

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 1.76 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right) = 0.0010$ OK

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม As = 1.04 cm²/m

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 30 cm As = 3.8 cm²/m

พื้น

$$\text{น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย } W_u = 2763.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{โมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ } M_u = \frac{1}{8} wL^2 = 352.24 \text{ kg-m}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 3.91 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{พิจารณาจากอัตราส่วน } \rho \text{ ที่ต้องการ} = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 f_c'}}\right)$$

$$= 0.00232$$

$$A_s = 2.32 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 30 cm } A_s = 3.8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

พิจารณาเหล็กเสริมต้านการยึดหดตัว

$$\text{ในที่นี้ } \rho \text{ (เหล็กเสริมกันร้าว)} = 0.0015 \quad A_{s \min} = 2.25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 45 cm } A_s = 2.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

project :

Trainsion Pipe Dai.80

dimension

ความสูงกำแพง =	1.15	m		covering =	5	cm
ระดับดินสูง =	1.1	m		d _{กำแพง} =	10	cm
ความหนากำแพง =	15	cm		d _{พื้น} =	10	cm
ความหนาพื้น =	15	cm		φ =	30	degree
ความกว้างพื้น =	0.99	m		Ka =	0.333	
f' _c =	250	kg/cm ²	soil :	surcharge =	0	kg/m ²
f _y =	1700	kg/cm ²		unit weight =	1900	kg/m ³
β =	0.85			LL =	400	kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	0.00	0.55	0.00
soil	181.50	0.37	66.55
water	605.00	0.37	221.83
	786.5	คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น Mu =	288.38

Vu = 1,101.10 kg

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 7,123.03 \text{ kg}$ OK

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c \cdot 6120}{f_y \cdot (6120 + f_y)} = 0.102$$

หาปริมาณเหล็กเสริม

กำแพง

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 3.20 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right) = 0.0019$ OK

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม As = 1.90 cm²/m

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 30 cm As = 3.8 cm²/m

พื้น

$$\text{น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย } W_u = 2964.80 \text{ kg/m}$$

$$\text{โมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ } M_u = \frac{1}{8} wL^2 = 651.61 \text{ kg-m}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 7.24 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{พิจารณาจากอัตราส่วน } \rho \text{ ที่ต้องการ} = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 f_c'}}\right)$$

$$= 0.00433$$

$$A_s = 4.33 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 30 cm } A_s = 3.8 \text{ cm}^2/\text{m}$$

พิจารณาเหล็กเสริมต้านการยึดหดตัว

$$\text{ในที่นี้ } \rho \text{ (เหล็กเสริมกันร้าว)} = 0.0015 \quad A_{s \min} = 2.25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 45 cm } A_s = 2.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

project :

Trainsion Pipe Dai.100

dimension

ความสูงกำแพง =	1.35	m		covering =	5	cm
ระดับดินสูง =	1.3	m		d _{กำแพง} =	15	cm
ความหนากำแพง =	20	cm		d _{พื้น} =	15	cm
ความหนาพื้น =	20	cm		φ =	30	degree
ความกว้างพื้น =	1.22	m		Ka =	0.333	
f' _c =	250	kg/cm ²	soil :	surcharge =	0	kg/m ²
f _y =	1700	kg/cm ²		unit weight =	1900	kg/m ³
β =	0.85			LL =	400	kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	0.00	0.65	0.00
soil	253.50	0.43	109.85
water	845.00	0.43	366.17
	1098.5	คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น Mu =	476.02

Vu = 1,537.90 kg

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 10,684.55 \text{ kg}$ OK

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c \cdot 6120}{f_y \cdot (6120 + f_y)} = 0.102$$

หาปริมาณเหล็กเสริม

กำแพง

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 2.35 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right) = 0.0014$ OK

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม As = 2.09 cm²/m

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 16 @ 30 cm As = 6.7 cm²/m

พื้น

$$\text{น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย } W_u = 3771.20 \text{ kg/m}$$

$$\text{โมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ } M_u = \frac{1}{8} wL^2 = 1177.65 \text{ kg-m}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 5.82 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{พิจารณาจากอัตราส่วน } \rho \text{ ที่ต้องการ} = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 f_c'}}\right)$$

$$= 0.00347$$

$$A_s = 5.20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 16 @ 30 cm } A_s = 6.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

พิจารณาเหล็กเสริมต้านการยัดหดตัว

$$\text{ในที่นี้ } \rho \text{ (เหล็กเสริมกันร้าว)} = 0.0015 \quad A_{s \min} = 3 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 16 @ 45 cm } A_s = 4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

project :

Trainsion Pipe Dai.100

dimension

ความสูงกำแพง = 1.55 m	covering = 5 cm
ระดับดินสูง = 1.5 m	$d_{\text{กำแพง}} = 15$ cm
ความหนากำแพง = 20 cm	$d_{\text{พื้น}} = 15$ cm
ความหนาพื้น = 20 cm	$\phi = 30$ degree
ความกว้างพื้น = 1.22 m	Ka = 0.333
$f'_c = 250$ kg/cm ²	soil : surcharge = 0 kg/m ²
$f_y = 1700$ kg/cm ²	unit weight = 1900 kg/m ³
$\beta = 0.85$	LL = 400 kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	0.00	0.75	0.00
soil	337.50	0.50	168.75
water	1125.00	0.50	562.50
1462.5			คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น Mu = 731.25

$V_u = 2,047.50$ kg

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 10,684.55$ kg OK

$$\rho_b = 0.85\beta_1 \frac{f'_c \cdot 6120}{f_y \cdot (6120 + f_y)} = 0.102$$

หาปริมาณเหล็กเสริม

กำแพง

$$R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 3.61 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}\right) = 0.0021$ OK

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม $A_s = 3.21 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 16 @ 30 cm $A_s = 6.7 \text{ cm}^2/\text{m}$

พื้น

$$\text{น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย } W_u = 4040.00 \text{ kg/m}$$

$$\text{โมเมนต์ดัดประลัยที่กระทำ } M_u = \frac{1}{8} wL^2 = 1482.89 \text{ kg-m}$$

$$\text{จาก } R_u = \frac{M_u}{\phi b d^2} = 7.32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{พิจารณาจากอัตราส่วน } \rho \text{ ที่ต้องการ} = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85 f_c'}}\right)$$

$$= 0.00438$$

$$A_s = 6.58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 16 @ 30 cm } A_s = 6.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

พิจารณาเหล็กเสริมต้านการยึดหดตัว

$$\text{ในที่นี้ } \rho \text{ (เหล็กเสริมกันร้าว)} = 0.0015 \quad A_{s \min} = 3 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม DB 16 @ 45 cm } A_s = 4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

project : Wall Trainion BC 1.2

dimension

ความสูงกำแพง =	1.2	m	covering =	5	cm
ระดับดินสูง =	1.15	m	d =	15	cm
ความหนากำแพง =	20	cm	ϕ =	30	degree
f'_c =	240	kg/cm ²	Ka =	0.333	
f_y =	3400	kg/cm ²	surcharge =	2000	kg/m ²
β =	0.85		soil : unit weight =	1900	kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	766.67	0.58	440.83
soil	198.38	0.38	76.04
water	661.25	0.38	253.48
1626.3		คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น Mu =	770.36

$V_u = 2,764.70 \text{ kg}$

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 10,468.67 \text{ kg} \quad \text{OK}$
0.049

หาปริมาณเหล็กเสริม

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = 3.80 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} (1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}) = 0.0011 \quad \text{OK}$

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม $A_s = 1.69 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 15 cm $A_s = 7.5 \text{ cm}^2/\text{m}$

ตรวจสอบเกี่ยวกับแรงเฉือน

$$\frac{2}{3} \Phi V_c = 6,979.12 \quad \text{OK}$$

เหล็กเสริมในแนวนอน อย่างน้อย 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดกำแพง

เหล็กเสริมแนวนอน : ต้องการ $A_s = 3 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 9 @ 30 cm $A_s = 2.1 \text{ cm}^2/\text{m}$

หมายเหตุ : ทั้งสองด้านของตอม่อใช้เท่ากัน

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = 1700 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 9$$

$$k = 0.32$$

$$j = 0.89$$

$$R = 13$$

$$E_c = 234238 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\max} = 453.15 \text{ kg-m} \quad (d_M = 5.9 \text{ cm})$$

OK

$$A_s = 1.99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 20 cm $A_s = 5.7 \text{ cm}^2/\text{m}$

ในที่นี้ ρ (เหล็กเสริมกันร้าว) = 0.0020

$$A_{s\min} = 3.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม RB 9 @ 20 cm $A_s = 3.2 \text{ cm}^2/\text{m}$

project :

Wall Trainion BC 1.8

dimension

ความสูงกำแพง =	1.8	m		covering =	5	cm
ระดับดินสูง =	1.75	m		d =	15	cm
ความหนากำแพง =	20	cm		ϕ =	30	degree
f'_c =	240	kg/cm ²		Ka =	0.333	
f_y =	3400	kg/cm ²		surcharge =	2000	kg/m ²
β =	0.85		soil :	unit weight =	1900	kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	1166.67	0.88	1020.83
soil	459.38	0.58	267.97
water	1531.25	0.58	893.23
		คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น Mu =	2,182.03

$V_u = 5,367.40 \text{ kg}$

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 10,468.67 \text{ kg}$ OK

0.049

หาปริมาณเหล็กเสริม

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = 10.78 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} (1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}) = 0.0033$ OK

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม $A_s = 4.89 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 15 cm $A_s = 7.5 \text{ cm}^2/\text{m}$

ตรวจสอบเกี่ยวกับแรงเฉือน

$$\frac{2}{3} \Phi V_c = 6,979.12 \text{ OK}$$

เหล็กเสริมในแนวอน อย่างน้อย 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดกำแพง

เหล็กเสริมแนวอน : ต้องการ $A_s = 3 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 9 @ 20 cm $A_s = 3.2 \text{ cm}^2/\text{m}$

หมายเหตุ : ทั้งสองด้านของตอม่อใช้เท่ากัน

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = 1700 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 9$$

$$k = 0.32$$

$$j = 0.89$$

$$R = 13$$

$$E_c = 234238 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\max} = 1,283.55 \text{ kg-m} \quad (d_M = 9.94 \text{ cm})$$

OK

$$A_s = 5.64 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 15 cm $A_s = 7.5 \text{ cm}^2/\text{m}$

ในที่นี้ ρ (เหล็กเสริมกันร้าว) = 0.0020

$$A_{s\min} = 3.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม RB 9 @ 20 cm $A_s = 3.2 \text{ cm}^2/\text{m}$

project : Wall Trainion BC 2.4

dimension

ความสูงกำแพง =	2.4	m		covering =	5	cm
ระดับดินสูง =	2.35	m		d =	20	cm
ความหนากำแพง =	25	cm		ϕ =	30	degree
f'_c =	240	kg/cm ²		Ka =	0.333	
f_y =	3400	kg/cm ²		surcharge =	2000	kg/m ²
β =	0.85		soil :	unit weight =	1900	kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	1566.67	1.18	1840.83
soil	828.38	0.78	648.89
water	2761.25	0.78	2162.98
	5156.3	คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น	Mu = 4,652.71

Vu = 8,765.70 kg

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 13,958.23 \text{ kg}$ OK

0.049

หาปริมาณเหล็กเสริม

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = 12.92 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} (1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}) = 0.0039$ OK

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม $A_s = 7.86 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 12 cm $A_s = 9.4 \text{ cm}^2/\text{m}$

ตรวจสอบเกี่ยวกับแรงเฉือน

$$\frac{2}{3} \Phi V_c = 9,305.49 \text{ OK}$$

เหล็กเสริมในแนวอน อย่างน้อย 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดกำแพง

เหล็กเสริมแนวอน : ต้องการ $A_s = 3.75 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 9 @ 20 cm $A_s = 3.2 \text{ cm}^2/\text{m}$

หมายเหตุ : ทั้งสองด้านของตอม่อใช้เท่ากัน

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = 1700 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 9$$

$$k = 0.32$$

$$j = 0.89$$

$$R = 13$$

$$E_c = 234238 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\max} = 2,736.89 \text{ kg-m} \quad (d_M = 14.5 \text{ cm})$$

OK

$$A_s = 9.02 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 12 cm $A_s = 9.4 \text{ cm}^2/\text{m}$

ในที่นี้ ρ (เหล็กเสริมกันร้าว) = 0.0020

$$A_{s\min} = 3.75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม RB 9 @ 20 cm $A_s = 3.2 \text{ cm}^2/\text{m}$

project :

Wall Trainion BC 3.3

dimension

ความสูงกำแพง =	3.3 m	covering =	5 cm
ระดับดินสูง =	3.25 m	d =	25 cm
ความหนากำแพง =	30 cm	ϕ =	30 degree
f'_c =	240 kg/cm ²	Ka =	0.333
f_y =	3400 kg/cm ²	surcharge =	2000 kg/m ²
β =	0.85	soil : unit weight =	1900 kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	2166.67	1.63	3520.83
soil	1584.38	1.08	1716.41
water	5281.25	1.08	5721.35
	9032.3	คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น	Mu = 10,958.59

$V_u = 15,354.90$ kg

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 17,447.79$ kg **OK**
0.049

หาปริมาณเหล็กเสริม

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = 19.48 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} (1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}) = 0.0060$ **OK**

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม $A_s = 15.08 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB **16** @ **12** cm $A_s = 16.8 \text{ cm}^2/\text{m}$

ตรวจสอบเกี่ยวกับแรงเฉือน

$$\frac{2}{3} \Phi V_c = 11,631.86 \text{ OK}$$

เหล็กเสริมในแนวอน อย่างน้อย 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดกำแพง

เหล็กเสริมแนวอน : ต้องการ $A_s = 4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB **12** @ **20** cm $A_s = 5.7 \text{ cm}^2/\text{m}$

หมายเหตุ : ทั้งสองด้านของตอม่อใช้เท่ากัน

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = 1700 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 9$$

$$k = 0.32$$

$$j = 0.89$$

$$R = 13$$

$$E_c = 234238 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\max} = 6,446.23 \text{ kg-m} \quad (d_M = 22.3 \text{ cm})$$

OK

$$A_s = 17.00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 16 @ 11.5 cm $A_s = 17.5 \text{ cm}^2/\text{m}$

ในที่นี้ ρ (เหล็กเสริมกันร้าว) = 0.0020

$$A_{s\min} = 4.50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม RB 12 @ 20 cm $A_s = 5.7 \text{ cm}^2/\text{m}$

project : Wall Trainion BC 3.6

dimension

ความสูงกำแพง =	3.6	m		covering =	5	cm
ระดับดินสูง =	3.55	m		d =	25	cm
ความหนากำแพง =	30	cm		ϕ =	30	degree
f'_c =	240	kg/cm ²		Ka =	0.333	
f_y =	3400	kg/cm ²		surcharge =	2000	kg/m ²
β =	0.85		soil :	unit weight =	1900	kg/m ³

แรงทางข้าง	ขนาดของแรงทางข้าง (kg)	แขนโมเมนต์(m)	โมเมนต์(kg-m)
surcharge	2366.67	1.78	4200.83
soil	1890.38	1.18	2236.94
water	6301.25	1.18	7456.48
		คิดโมเมนต์ที่รอยต่อพื้น	Mu = 13,894.26

Vu = 17,949.10 kg

และ $\Phi V_c = 0.53\Phi\sqrt{f'_c}bd = 17,447.79 \text{ kg}$ NO USE
0.049

หาปริมาณเหล็กเสริม

$$R_u = \frac{M_u}{\phi bd^2} = 24.70 \text{ kg/cm}^2$$

พิจารณาจากอัตราส่วน ρ ที่ต้องการ $= \frac{0.85f'_c}{f_y} (1 - \sqrt{1 - \frac{2R_u}{0.85f'_c}}) = 0.0078 \text{ OK}$

ดังนั้นต้องใช้เหล็กเสริม As = 19.42 cm²/m

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 20 @ 12 cm As = 26.2 cm²/m

ตรวจสอบเกี่ยวกับแรงเฉือน

$$\frac{2}{3} \Phi V_c = 11,631.86 \text{ OK}$$

เหล็กเสริมในแนวอน อย่างน้อย 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดกำแพง

เหล็กเสริมแนวอน : ต้องการ As = 4.5 cm²/m

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 12 @ 20 cm As = 5.7 cm²/m

หมายเหตุ : ทั้งสองด้านของตอม่อใช้เท่ากัน

$$f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 3400 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c = 90 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_s = 1700 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 9$$

$$k = 0.32$$

$$j = 0.89$$

$$R = 13$$

$$E_c = 234238 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_{\max} = 8,173.09 \text{ kg-m} \quad (d_M = 25.1 \text{ cm})$$

OK

$$A_s = 21.55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม DB 20 @ 11.5 cm $A_s = 27.3 \text{ cm}^2/\text{m}$

ในที่นี้ ρ (เหล็กเสริมกันร้าว) = 0.0020

$$A_{s_{\min}} = 4.50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

เลือกใช้เหล็กเสริม RB 12 @ 20 cm $A_s = 5.7 \text{ cm}^2/\text{m}$



ภาคผนวก ข.

เอกสารประกอบการประชุมถ่ายทอดเทคโนโลยี

เอกสารหมายเลข 1



โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนนเพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ

การประชุมถ่ายทอดองค์ความรู้

วันจันทร์ที่ 25 กันยายน 2560
โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร



1

หัวข้อการนำเสนอ

- ความเป็นมาและแนวทางการดำเนินงานโครงการ
- องค์ความรู้พื้นฐานด้านการออกแบบอาคารระบายน้ำ
- การประยุกต์ใช้เครื่องมือสารสนเทศทางภูมิศาสตร์
- ผลการดำเนินงานโครงการ และ แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้

2

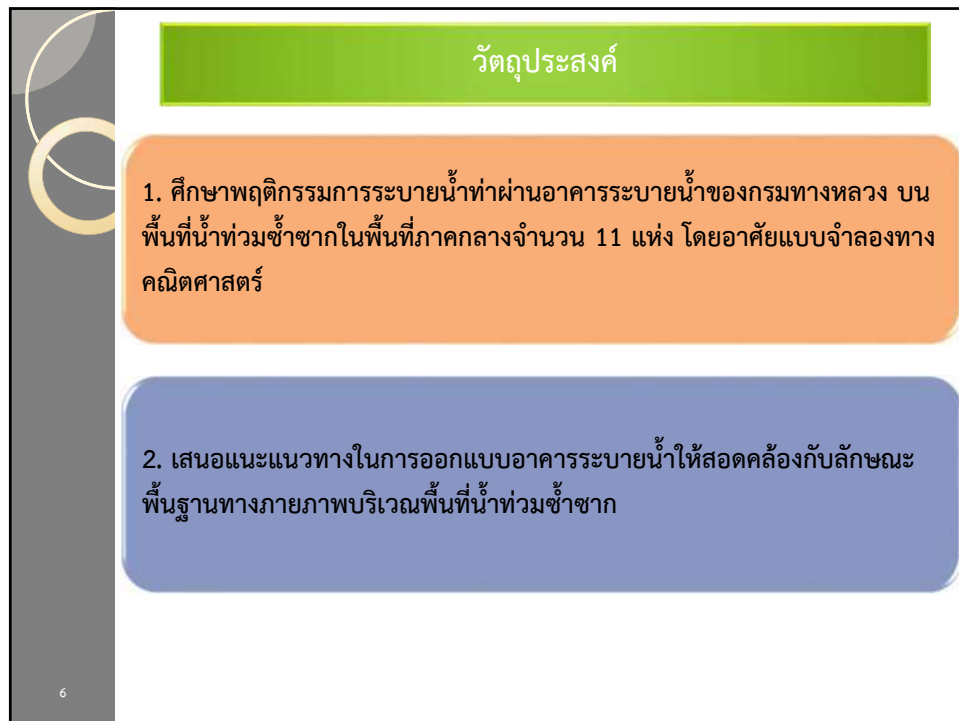
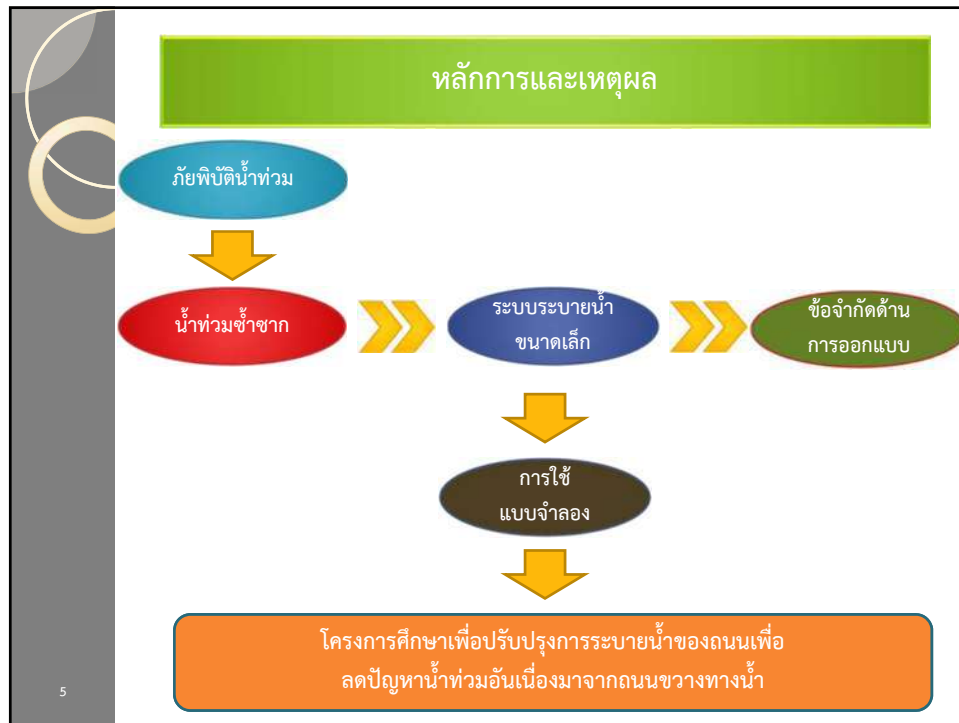
3


ความเป็นมาโครงการ

4

หลักการและเหตุผล







7

แนวทางการดำเนินงานโครงการ



1. งานศึกษาทบทวนวรรณกรรม

- การศึกษา ทบทวน และรวบรวมข้อมูลรวมทั้งทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการอาคารระบายน้ำตลอดจนแบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน
- การศึกษา ทบทวน ทฤษฎี แนวคิดและวิธีการออกแบบระบบระบายน้ำในต่างประเทศ
- การศึกษา ทบทวน วิธีการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวง

9

การคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง

10

หลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

- การรวบรวมข้อมูล
- การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา
- การกำหนดหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

11

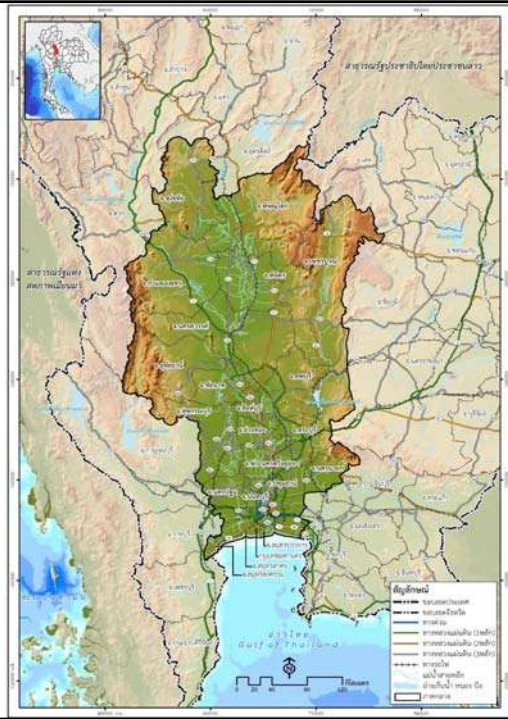
หลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

- การรวบรวมข้อมูล
 - ข้อมูลแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 (ปีล่าสุดที่มีการจัดทำข้อมูล)
 - ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปีพ.ศ. 2559
 - สภาพภูมิประเทศจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ของกรมแผนที่ทหาร ปี พ.ศ. 2558
 - สถิติการเกิดอุทกภัยบนทางหลวง ปี พ.ศ. 2555 ถึงปัจจุบัน จาก ฐานข้อมูลของระบบบริหารงานภัยพิบัติและสถานการณ์ฉุกเฉิน กรมทางหลวง

12

➤ การรวบรวมข้อมูล

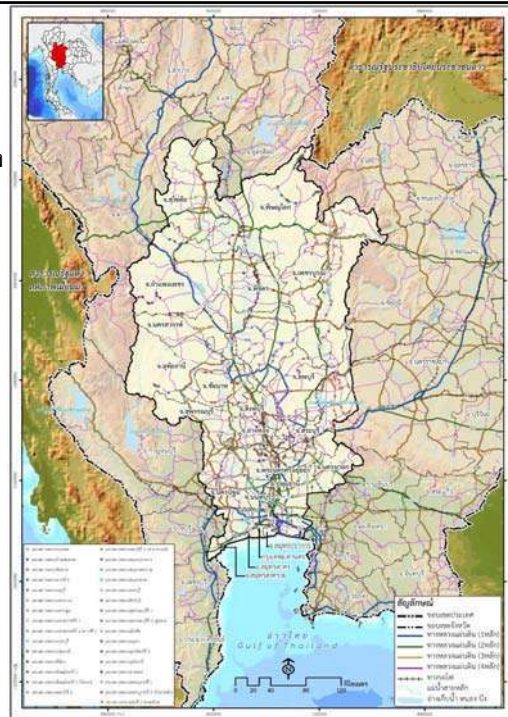
ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ



15

➤ การรวบรวมข้อมูล

ตำแหน่งการเกิดอุทกภัยบนทางหลวง



16

หลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

➤ การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก

สถิติการเกิดอุทกภัยบนทางหลวง

น้ำท่วมซ้ำซากสูง

พื้นที่ของแนวทางหลวงที่มีจำนวนของตำแหน่งการเกิดเหตุน้ำท่วมมากที่สุด 5 อันดับแรก

- 1) แนวทางหลวงสมุทรปราการ จำนวน 137 ตำแหน่ง
- 2) แนวทางหลวงเพชรบูรณ์ที่ 1 จำนวน 134 ตำแหน่ง
- 3) แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า) จำนวน 64 ตำแหน่ง
- 4) แนวทางหลวงลพบุรีที่ 1 จำนวน 62 ตำแหน่ง
- 5) แนวทางหลวงนครสวรรค์ที่ 1 จำนวน 58 ตำแหน่ง

17

➤ การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา

แบ่งพื้นที่เป็น 36 พื้นที่

18

หลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

➤ การกำหนดหลักเกณฑ์การคัดเลือกพื้นที่ศึกษา

1) หลักเกณฑ์จากข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง

การกำหนดหลักเกณฑ์จากข้อมูลสถิติการเกิดน้ำท่วมบนทางหลวง จะพิจารณาจากพื้นที่ที่เป็นตัวแทนของแขวงทางหลวงในพื้นที่ภาคกลางที่มีการรายงานจำนวนตำแหน่งการเกิดปัญหาน้ำท่วมมากที่สุด 5 อันดับแรก เนื่องจากถือว่าเป็นพื้นที่ที่มีปัญหาและต้องเข้าไปดำเนินการแก้ไขโดยเร่งด่วน

2) หลักเกณฑ์จากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การพิจารณาตามหลักเกณฑ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จะคัดเลือกพื้นที่ที่สามารถเป็นตัวแทนลักษณะการใช้ที่ดินทุกประเภท เนื่องจากการใช้ที่ดินย่อมส่งผลกระทบต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเป็นน้ำท่า หรือส่งผลกระทบต่อปริมาณและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าที่จะคำนวณผ่านอาคารระบายน้ำนั้นเอง

3) หลักเกณฑ์จากข้อมูลค่าความลาดชันเฉลี่ยของพื้นที่

การพิจารณาตามหลักเกณฑ์ค่าความลาดชันเฉลี่ย จะพิจารณาคัดเลือกให้ครอบคลุมตัวแทนของพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง และพื้นที่ที่เป็นที่ราบ เนื่องจากค่าความลาดชันมีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการเดินทางของน้ำท่า และอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า

4) หลักเกณฑ์จากข้อมูลกลุ่มชุดดิน

การพิจารณาตามหลักเกณฑ์ข้อมูลกลุ่มชุดดิน จะพิจารณาคัดเลือกให้ครอบคลุมตัวแทนของพื้นที่ที่มีกลุ่มชุดดินหลักที่แตกต่างกัน เนื่องจากกลุ่มชุดดินแต่ละประเภท จะส่งผลกระทบต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งย่อมส่งผลกระทบต่อปริมาณและอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าเช่นกัน

19

➤ ผลการวิเคราะห์ เพื่อคัดเลือกพื้นที่ ศึกษานำร่อง

สรุปผลการคัดเลือกพื้นที่

- 1) พื้นที่ที่ 6
- 2) พื้นที่ที่ 7
- 3) พื้นที่ที่ 19
- 4) พื้นที่ที่ 20
- 5) พื้นที่ที่ 23
- 6) พื้นที่ที่ 31
- 7) พื้นที่ที่ 32
- 8) พื้นที่ที่ 33
- 9) พื้นที่ที่ 34
- 10) พื้นที่ที่ 35
- 11) พื้นที่ที่ 36



20

ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง

พื้นที่	หมายเลขทางหลวงในพื้นที่
พื้นที่ 6	1 / 117 / 225 / 1084 / 1182 / 3475 / 3253
พื้นที่ 7	1 / 117 / 1073 / 1074 / 1083 / 1084 / 1112 / 1182 / 3491
พื้นที่ 19	115 / 117 / 126 / 1063 / 1281 / 1312
พื้นที่ 20	11 / 12 / 117 / 126 / 1058 / 1063 / 1064 / 1065
พื้นที่ 23	101 / 1065 / 1293 / 1303 / 1311
พื้นที่ 31	101 / 1048 / 1056 / 1113 / 1195 / 1201 / 1294
พื้นที่ 32	1 / 301 / 311 / 3016 / 3017 / 3019 / 3024 / 3196
พื้นที่ 33	12 / 21 / 2008 / 2209 / 2181 / 2215 / 2275 / 2278 / 2302 / 2372
พื้นที่ 34	21 / 225 / 2401 / 3004
พื้นที่ 35	1 / 1072 / 3013 / 3473
พื้นที่ 36	21 / 2006 / 2215 / 2258 / 2271 / 2275 / 2302 / 2326 / 2385 / 2402

21

การพฤติกรรมการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำ

22



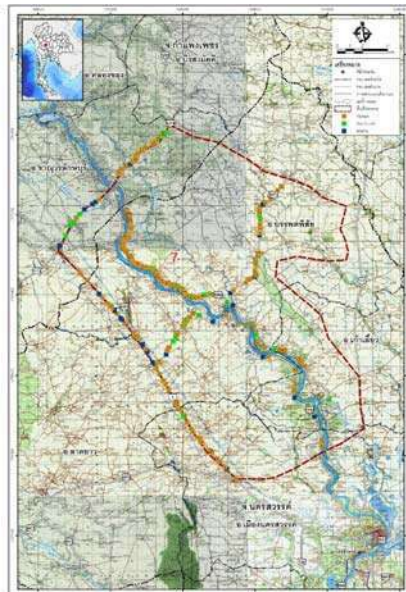
3. การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำ

แนวทางในการวิเคราะห์ห้ทุกภัยด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์

1. จัดสร้างแผนภูมิระบบโครงข่ายลำน้ำเพื่อใช้วิเคราะห์ด้านชลศาสตร์ ซึ่งข้อมูลรูปตัดลำน้ำและข้อมูลอาคารชลศาสตร์ต่างๆจะถูกนำเข้าไปในโครงข่ายลำน้ำ
2. นำเข้าข้อมูลด้านต่าง ๆ ในแบบจำลอง
3. ดำเนินการปรับเทียบแบบจำลอง โดยจำลองสถานการณ์ย้อนหลังเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริง โดยพิจารณาตรวจสอบ ณ สถานีตรวจวัดน้ำท่าที่สำคัญ ระดับน้ำและการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่
4. จำลองสภาพการไหลในสภาพปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน
5. จำลองสภาพการไหล เมื่อมีการพัฒนาโครงการในพื้นที่ และเปรียบเทียบกรณีมี/ไม่มีการพัฒนาโครงการที่จะศึกษา เพื่อหาผลประโยชน์ที่ได้จากการพัฒนาโครงการ

25

3. การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำ




อัตราการไหลสูงสุด
ณ ตำแหน่งอาคาร
ระบายน้ำต่างๆ

26


27

การเสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำ


การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด




Land used



Slope and Catchment area



Soil Type



Rainfall Data

28



การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

- การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis)
- เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป กับตัวแปรตาม 1 ตัว

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_n X_{ni} + \epsilon_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n$$

30

เสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการ
คำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุด

Qpeak
Model

Qpeak
Developed Eq.

Qpeak
Original Met.

31

เสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำ

การจัดทำแบบแนะนำ

- 1) ออกแบบทางด้านชลศาสตร์ เพื่อคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของอาคารระบายน้ำ โดยใช้สมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดที่ปรับปรุงครอบคลุมช่วงของอัตราการไหลสูงสุดและต่ำสุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (ผลจากพื้นที่ศึกษา 11 พื้นที่)
- 2) ออกแบบทางด้านวิศวกรรมโยธา

32

เสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำ

การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำที่เสนอแนะ

- 1) กำหนดเหตุการณ์น้ำท่วมในการวิเคราะห์
- 2) ประเมินอัตราการไหลสูงสุดจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ตามเหตุการณ์น้ำท่วมที่คัดเลือก ณ ตำแหน่งที่ผ่านอาคารระบายน้ำในพื้นที่ศึกษาโครงการ
- 3) นำข้อมูลอัตราการไหลสูงสุดที่ประเมินได้ มาคัดเลือกแบบแนะนำ
- 4) นำเข้าข้อมูลอาคารระบายน้ำ ตามแบบแนะนำแทนที่ข้อมูลอาคารระบายน้ำเดิมจากผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม
- 5) จำลองการไหลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ภายใต้ภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของอาคารระบายน้ำ
- 6) เปรียบเทียบข้อมูลของพื้นที่น้ำท่วม ระหว่างกรณีที่ใช้ข้อมูลอาคารระบายน้ำตามแบบแนะนำกับข้อมูลอาคารระบายน้ำเดิมจากผลการสำรวจข้อมูลภาคสนาม
- 7) วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบและสรุปประสิทธิภาพการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำ ตามแนวทางที่ออกแบบใหม่

33

การถ่ายทอดเทคโนโลยี

34

การถ่ายทอดความ^{ใจ}

การจัดทำบทความวิชาการ

การจัดฝึกอบรม

35

..จบการนำเสนอ..



36

เอกสารหมายเลข 2



โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนนเพื่อ
ลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ

**ความรู้พื้นฐานในการออกแบบ
อาคารระบายน้ำ**

วันจันทร์ที่ 25 กันยายน 2560
โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร



1

ทฤษฎีพื้นฐานและการออกแบบระบบระบายน้ำ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

การออกแบบอาคารระบายน้ำ

2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

➤ การออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีของแบบจำลอง

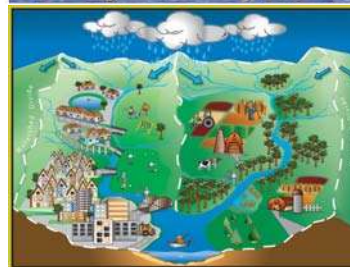
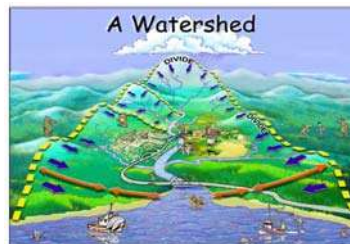
3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ลุ่มน้ำ (Watershed)

- ลุ่มน้ำ หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำทำผิวดิน (Surface Runoff) ที่เกิดจากฝนที่ตกลงบนพื้นที่น้ำจะไหลลงสู่ทางออก (outlet) (วรารุส, 2545) ลุ่มน้ำของแม่น้ำ ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำ ไตๆ ก็คือ พื้นที่ซึ่งเมื่อฝนตกลงมาแล้วน้ำจะไหลรวมกันลงสู่แม่น้ำ ทะเลสาบ หรืออ่างเก็บน้ำ นั้นๆ (วิระพล, 2531)ทฤษฎีของแบบจำลองคณิตศาสตร์ : แบบจำลอง 2 มิติ ที่สามารถจำลองการไหลในพุ่มน้ำท่วมได้



4

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ลุ่มน้ำ (Watershed)

- พื้นที่ประเทศไทยออกเป็น 25 ลุ่มน้ำ และยังแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยได้อีก 254 ลุ่มน้ำย่อย
- ลุ่มน้ำที่มีความแตกต่างกัน ไม่ว่าจะ เป็น ขนาดของพื้นที่ ลักษณะภูมิประเทศ สภาพพืชพรรณปกคลุม การใช้ประโยชน์ที่ดิน ตลอดจนสมบัติทางอุทกวิทยาของดิน ย่อมส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำท่าที่แตกต่างกัน ทั้งในด้านของปริมาณและอัตราการไหลสูงสุด แม้ว่าจะมีปริมาณฝนที่เกิดขึ้นเท่ากันก็ตาม




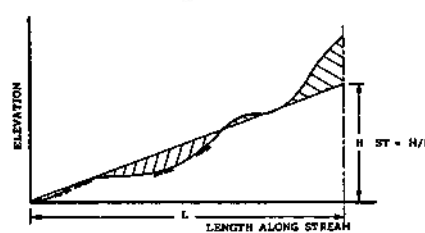
01 ลุ่มน้ำสาละวิน	15 ลุ่มน้ำปราจีนบุรี
02 ลุ่มน้ำโขง	16 ลุ่มน้ำวังมะปราง
03 ลุ่มน้ำกก	17 ลุ่มน้ำโตหะเลสาบ
04 ลุ่มน้ำอิ	18 ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลตะวันออก
05 ลุ่มน้ำมูล	19 ลุ่มน้ำเพชรบุรี
06 ลุ่มน้ำอิง	20 ลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์
07 ลุ่มน้ำวัง	21 ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออก
08 ลุ่มน้ำยม	22 ลุ่มน้ำตาปี
09 ลุ่มน้ำพาด	23 ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา
10 ลุ่มน้ำเจ้าพระยา	24 ลุ่มน้ำปัตตานี
11 ลุ่มน้ำสะแกกรัง	25 ลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก
12 ลุ่มน้ำป่าสัก	
13 ลุ่มน้ำท่าจีน	
14 ลุ่มน้ำแม่กลอง	

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ลุ่มน้ำ (Watershed)

- ความยาวของลำน้ำหลัก คือความยาวของลุ่มน้ำวัดตามแนวลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงสันเขาหรือสันปันน้ำที่อยู่ไกลสุด
- ความลาดชันเฉลี่ยบนลำน้ำสายหลัก คือความลาดชันที่เกิดจากการลากเส้นสมมติตามรูปตัดตามยาว (Profile) ของลำน้ำ แล้วส่งผลให้พื้นที่ใต้กราฟและพื้นที่เหนือกราฟ (พื้นที่ที่เกิดจากเส้นสมมติกับเส้นค่าระดับความสูงของพื้นที่) มีค่าใกล้เคียงกัน

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ เทคโนโลยีทางด้านอุทกวิทยา

ฝน (Rainfall)



Royal Irrigation Department, Thailand
Station - 75002 A, Chiang Rhom, Phayao

Computer Center
RRI/ISATW/2.01

Water Year - 1978

Daily Rainfall in Millimeter


Date	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual	
1	.0	.0	81.9	9.0	76.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
2	.0	.0	11.2	5.0	25.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
3	.0	.0	4.0	13.1	.0	.0	9.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
4	.0	.0	20.0	13.0	.0	.0	3.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
5	.0	.0	10.0	13.0	.0	.0	24.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
6	.0	.0	7.7	21.3	1.5	0.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
7	.0	.0	40.0	13.9	61.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
8	.0	.0	19.0	.0	47.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
9	.0	.0	7.0	14.0	.0	24.9	.0	.0	.0	.0	.0	8.0	.0	
10	.0	.0	.0	0.0	14.0	8.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
11	.0	.0	.0	3.5	0.9	5.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
12	.0	.0	.0	55.5	24.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
13	.0	.0	.0	50.7	40.0	8.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
14	.0	.0	.0	4.0	7.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
15	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
16	.0	.0	.0	22.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
17	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
18	.0	.0	.0	21.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
19	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
20	.0	.0	.0	1.1	2.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
21	.0	.0	23.3	.0	2.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
22	.0	.0	.0	4.0	24.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
23	.0	.0	14.0	.0	27.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
24	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
25	.0	.0	.0	29.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
26	.0	.0	11.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
27	.0	.0	17.5	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
28	.0	.0	8.0	11.0	48.5	1.0	.0	.0	.0	.0	2.0	.0	.0	
29	.0	.0	.0	0.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
30	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
31	.0	.0	.0	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	
Total	.0	.0	320.8	342.9	231.9	284.0	79.9	.0	.0	.0	10.0	.0	.0	
Average	.0	.0	4.0	11.7	9.4	9.5	2.6	.0	.0	.0	0.4	.0	.0	
Rainy Days	0	0	13	17	14	4	0	0	0	0	2	0	0	
Maximum 1 Day Rainfall	81.7 MM	1 Jul 1978	Maximum 2 Day Rainfall	132.9 MM	1 Jul 1978	Maximum 3 Day Rainfall	140.4 MM	1 Jul 1978	Maximum 4 Day Rainfall	140.4 MM	1 Jul 1978	Maximum 5 Day Rainfall	177.9 MM	1 Jul 1978
Maximum 6 Day Rainfall	215.4 MM	1 Jul 1978	Maximum 7 Day Rainfall	217.7 MM	1 Jul 1978	Maximum 8 Day Rainfall	276.7 MM	1 Jul 1978	Maximum 9 Day Rainfall	276.7 MM	1 Jul 1978	Maximum 10 Day Rainfall	276.7 MM	1 Jul 1978

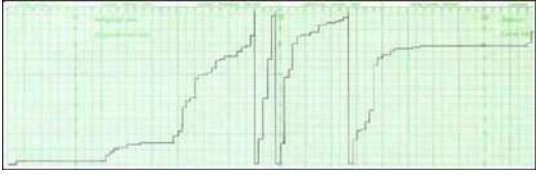
7

เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ เทคโนโลยีทางด้านอุทกวิทยา

ฝน (Rainfall)





8

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ฝน (Rainfall)

ความเข้มของฝนที่ตก หมายถึง ปริมาณฝนที่ตกในหนึ่งหน่วยเวลา นิยมวัดเป็น มิลลิเมตรต่อนาทีหรือมิลลิเมตร ต่อชั่วโมง

- ความเข้มของฝนตกเมื่อมากกว่าอัตราการซึมของน้ำที่ไหลลงไปในดินแล้ว ปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดิน จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามอัตราการเพิ่มของฝนที่ตก
- อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำท่าที่ไหลบนผิวดินอาจไม่เพิ่มเป็น สัดส่วนโดยตรงกับจำนวนน้ำฝนที่เหลือจากการซึมสูญหายลงไปในดินเท่าใดนัก ทั้งนี้เพราะฝนที่เหลือดังกล่าวส่วน หนึ่งมักถูกเก็บขังในลักษณะน้ำนองในที่ลุ่มก่อนที่ จะไหลหลากเป็นน้ำท่า

9

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ฝน (Rainfall)

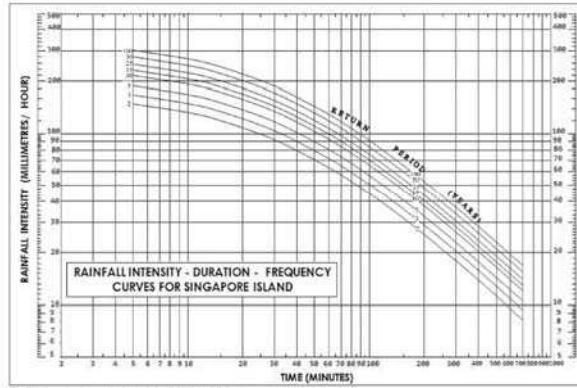
- จากการศึกษาของปริญญาและวันชัย (2532) พบว่า เมื่อมีปริมาณฝนตกตั้งแต่ 260 มิลลิเมตรขึ้นไป ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จะเกิดแผ่นดินถล่มตามลาดไหล่เขาหลายสิบหลายร้อยแห่ง
- Kim et.al (1991) ได้รายงานผลการศึกษาในปี 1977-1978 ที่ประเทศเกาหลี พบว่า จำนวนของการ เกิดแผ่นดินถล่มมีความสัมพันธ์กับความถี่และปริมาณน้ำฝน กล่าวคือ
 - ✓ ในระดับรุนแรงมากต้องมีปริมาณฝนตกสะสมมาแล้ว 2 วัน มากกว่า 140 มิลลิเมตร และความเข้ม (Intensity) ของฝนมากกว่า 35 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
 - ✓ ในระดับรุนแรงต้องมีปริมาณฝนตกสะสมมาแล้ว 2 วัน ปริมาณน้ำฝนระหว่าง 80-140 มิลลิเมตร ความหนาแน่นของฝนมากกว่า 15 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง
 - ✓ ระดับรุนแรงน้อยต้องมีปริมาณฝนตกสะสมมาแล้ว 2 วัน ปริมาณน้ำฝนมากกว่า 40 มิลลิเมตร ความหนาแน่นของฝนมากกว่า 1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

10

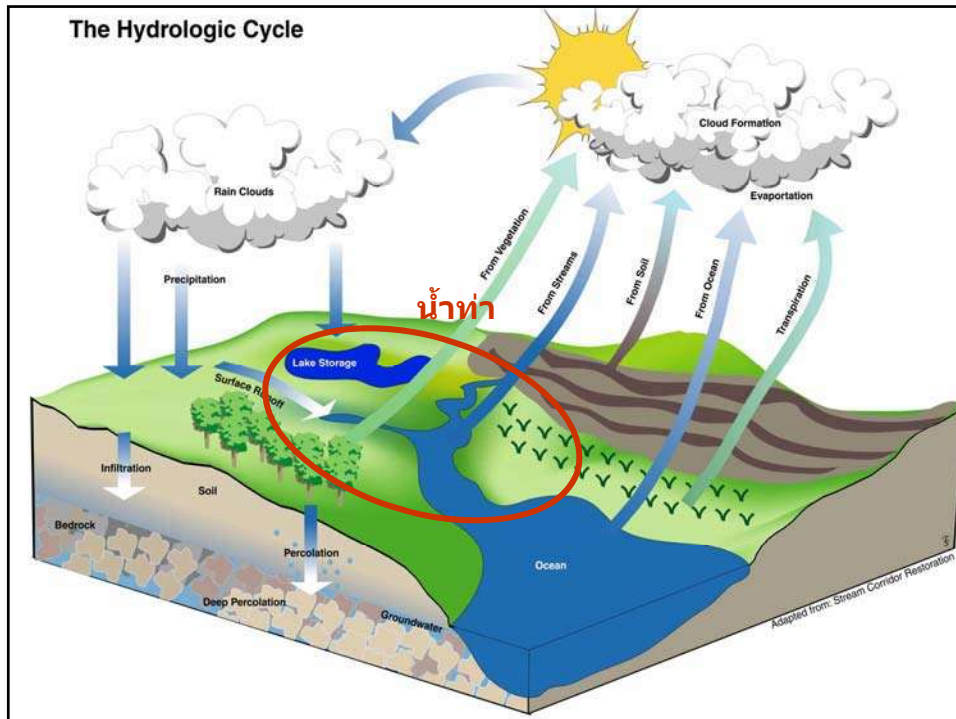
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

ฝน (Rainfall)



11



ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

น้ำท่า (Runoff or Streamflow)

คือ น้ำที่ไหลในแม่น้ำ ลำคลอง ลำธารต่างๆ

น้ำท่าเป็นข้อมูลสำคัญในการศึกษาทางด้านอุทกวิทยา เช่น

- นำไปใช้ประกอบในการออกแบบเขื่อน อ่างเก็บน้ำและอาคารระบายน้ำและอาคารชลประทานต่างๆ
- ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสภาพและปริมาณน้ำในแม่น้ำลำธาร อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงจากการกระทำของมนุษย์

13

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

น้ำท่า (Runoff)

- คือ การวัดปริมาณการไหลผ่านรูปตัดของลำน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น ลบ.ม./วินาที
 - การวัดค่าโดยตรงทำได้ยากและสิ้นเปลืองมาก
 - จึงเปลี่ยนมาวัดระดับน้ำแทน แล้วเปลี่ยนค่าระดับน้ำเป็นปริมาณน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา
- การวัดระดับน้ำกระทำได้หลายวิธี คือ
 1. แบบไม้อัดโนมัติ
 2. แบบอัดโนมัติ
 3. แบบบันทึกเฉพาะระดับน้ำสูงสุด

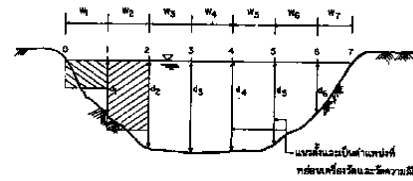
14

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

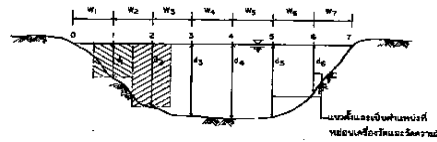
➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

น้ำท่า (Runoff)

- ข้อมูลอัตราการไหล คือ
ข้อมูลปริมาณการไหลต่อหน่วยเวลา
- ปกติ คำนวณได้จาก $Q = AV$
- การวัดความเร็วการไหลที่ระดับความลึกของน้ำ 3 ตำแหน่งดังนี้
 - ✓ $V_{0.2}$ = ความเร็วที่ 0.2d วัดจากผิวน้ำ
 - ✓ $V_{0.6}$ = ความเร็วที่ 0.6d วัดจากผิวน้ำ
 - ✓ $V_{0.8}$ = ความเร็วที่ 0.8d วัดจากผิวน้ำ



วิธี mean-section



วิธี mid-section

15

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

- กราฟน้ำท่า (hydrograph) คือ
 - กราฟที่แสดงถึงการผันแปรของปริมาณน้ำหรือระดับน้ำตามเวลา
- กราฟน้ำท่าของกลุ่มน้ำ
 - จะรวมและแสดงสภาพต่างๆ ของกลุ่มน้ำเข้าไว้ด้วยกัน
 - ลักษณะประจำของกลุ่มน้ำเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะของกราฟน้ำท่าก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

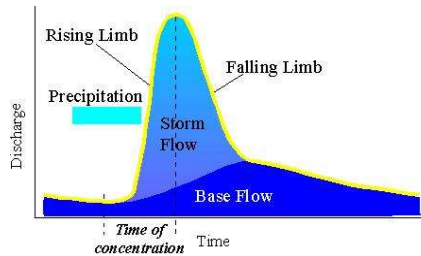
16

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านอุทกวิทยา

น้ำท่า (Runoff)

- Direct Runoff
- Baseflow
- หากไม่มีสถานีตรวจวัดสามารถสร้างกราฟน้ำท่าเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำนั้น โดยเริ่มจากการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) จากนั้นจึงนำกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลฝนเพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำนองหรือปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบ อาคารระบายน้ำต่อไปได้



17

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธี Rational Method

วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค
(Regional Flood Frequency Analysis)

วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์
(Synthetic Unit Hydrograph)



18

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธี Rational Method

$Q = 0.278 CIA$

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

19

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธี Rational Method

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

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

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดโดยวิธี Rational Formula เป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย แต่ความถูกต้องแม่นยำของการคำนวณขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการเลือกใช้ ค่าสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า

Legend for Runoff Bands:

- BAND 1: STEEP BARREN, UNPERVIOUS
- BAND 2: ROLLING BARREN IN UPPER BAND VALLEY; FLAT BARREN IN LOWER PART OF BAND; STEEP FORESTED & STEEP LIMBS WOODING
- BAND 3: THICK LAYERS OF ASSHORE TO STEEP SLOPES, MOUNTAINOUS, PARKING
- BAND 4: FLAT PERVIOUS SURFACES, FLAT PARKLAND, WOODED AREAS AND MEADOWS

20

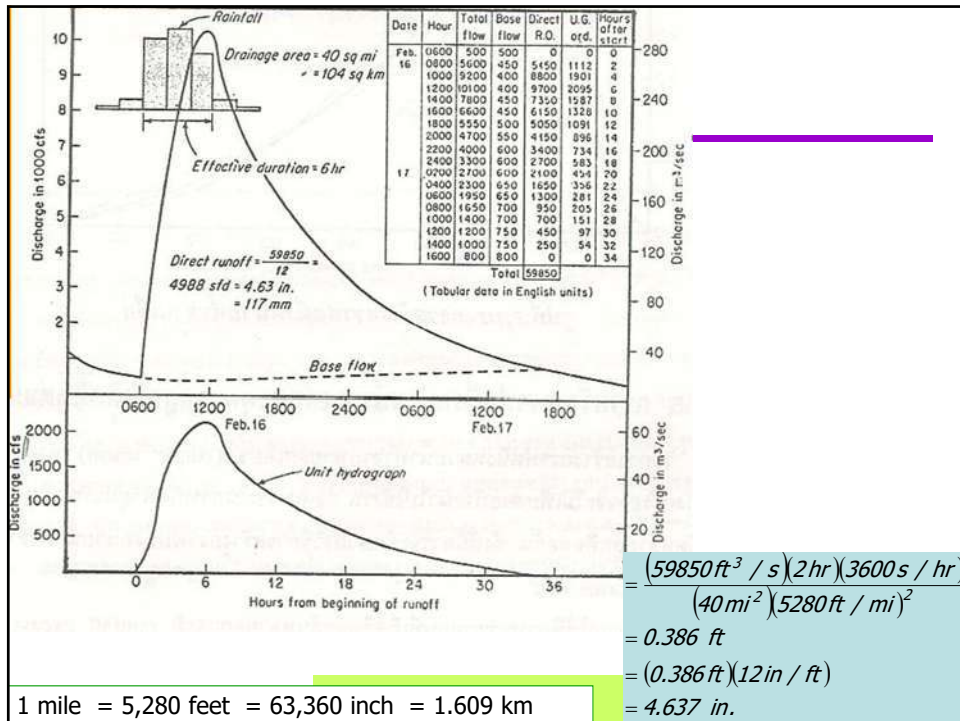
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า คือ กราฟน้ำท่าผิวดินที่เกิดจากฝนสุทธหรือฝนส่วนเกิน 1 หน่วย ซึ่งแผ่กระจายสม่ำเสมอบนพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยอัตราการตกคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด

- **ขั้นแรก**
 - ทำการแยก baseflow ออกจากปริมาณการไหลรวม (total runoff) เพื่อให้ได้ direct runoff
- **ขั้นที่สอง**
 - คำนวณปริมาตรทั้งหมดของ direct runoff
 - แสดงในหน่วยเทียบเป็นความลึกเฉลี่ยทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ
- **ขั้นที่สาม**
 - นำค่าปริมาตรในหน่วยความลึกไปหาร ordinates ทุกตัวของ direct runoff
 - เพื่อให้ปริมาตรทั้งหมดของ direct runoff มีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วยความลึก (นิ้วหรือเซนติเมตร) ตามค่าจำกัดความของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

21



ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการพหุหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

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

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

T_p = เวลาเกิดปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่า (ชั่วโมง)

Q_p = ปริมาณการไหลสูงสุดของน้ำท่าของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (ลูกบาศก์เมตร/วินาที/มิลลิเมตร)

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดไกลสุดบนสันปันน้ำ (กิโลเมตร)

L_c = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดออกจนถึงจุดที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงของกลุ่มน้ำมากที่สุด (กิโลเมตร)

S = ความลาดเทเฉลี่ยของลำน้ำสายใหญ่

A = ขนาดของพื้นที่รับน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

a, b, c, d , = ค่าสัมประสิทธิ์รีเกรชัน ซึ่งจะต้องคำนวณหาจากข้อมูลที่มีอยู่จริงในแต่ละลุ่มน้ำ

23

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการพหุหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

ลำดับ	ลุ่มน้ำ	จำนวนสถานี ที่ใช้วิเคราะห์	$T_p = a(LL_c / \sqrt{S})^b$			$Q_p/A = c(T_p)^d$		
			a	b	r^2	c	d	r^2
1	ปัง	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

24

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการพหุหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph)

ขั้นตอนการหา อัตราการไหลสูงสุดด้วยวิธีการพหุหน่วยน้ำท่า มีดังนี้

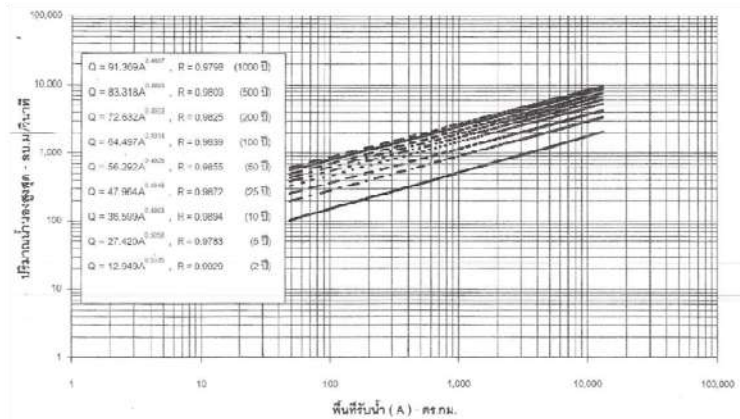
- 1) หาข้อมูลตัวแปรที่ต้องใช้ คือ A, L, Lc S และ I
- 2) คำนวณค่า Tp จากสมการ Tp ของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำปิง $Tp = 0.5924 (LL_c \sqrt{S}) 0.3108$
- 3) คำนวณค่าอัตราการไหลสูงสุดของฝนหนึ่งหน่วย Qp จากสมการกราฟน้ำท่าหนึ่งหน่วยของแต่ละลุ่มน้ำ เช่น ลุ่มน้ำปิง $Qp = A \times 0.2094 \times (Tp) - 1.0018$
- 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 $I_r = I \times Tr$
- 7) หาค่าสัมประสิทธิ์การเกิดน้ำท่าจากปริมาณฝนรวม (ฝนเฉลี่ยรายวัน) เช่น ลุ่มน้ำยม $Co = 0.1787 RF + 3.8849$ $Co = \dots\dots\dots\%$
- 8) หาค่าปริมาณน้ำฝนใช้การ = $Co \times I_r$
- 9) อัตราการไหลสูงสุด = $(Co \times I_r) \times Qp$ (ลบ.ม./วินาที)

25

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis)

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



26

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการหนึ่งหน่วยน้ำทำสังเคราะห์
(Synthetic Unit Hydrograph)

วิธีการนี้เป็นวิธีการสร้างกราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำ สำหรับบริเวณพื้นที่ศึกษาซึ่งไม่มีสถานีวัดน้ำทำ โดยจะทำการใช้สังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำขึ้นมา ซึ่งหลักการสังเคราะห์กราฟหนึ่งหน่วยน้ำทำได้นักนำเสนอโดย Snyder F.F ในปี ค.ศ. 1938

27

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการหนึ่งหน่วยน้ำทำสังเคราะห์
(Synthetic Unit Hydrograph)

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

$$q_p = K_p / T_r$$

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

- L = คือระยะทางตามแนวละน้ำสายหลักจากจุดไกลสุด บนสันปันน้ำ ถึงตำแหน่งที่พิจารณา ออกแบบ อาคารระบายน้ำ หน่วยเป็นกิโลเมตร
- L_c = คือระยะทางตามแนวลำน้ำสายหลัก จากจุดที่ไกลจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่รับน้ำมากที่สุด ถึงจุดที่พิจารณาออกแบบอาคารระบายน้ำมีหน่วยเป็นกิโลเมตร
- C_t = คือค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทและที่ตั้งของลำน้ำ
- Tr = ช่วงเวลาฝนวิกฤต มีหน่วยเป็นชั่วโมง
- Q_p = อัตราการไหลสูงสุดของกราฟ 1 หน่วยน้ำทำ มีหน่วยเป็นลิตร /วินาที/ตร.กม.
- K_p = สัมประสิทธิ์ มีค่าประมาณ 28 ถึง 34 ขึ้นอยู่กับความลาดชันของลุ่มน้ำและพืชที่ปกคลุมดิน
- α = reduction factor สำหรับลดขนาด point rainfall intensity ในกรณีลุ่มน้ำขนาดใหญ่
- φ = ความสามารถซึมได้ของดิน (Infiltration capacity) มีหน่วยเป็น มม./ชั่วโมง

28

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการหนึ่งหน่วยน้ำทำสังเคราะห์
(Synthetic Unit Hydrograph)

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

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

29

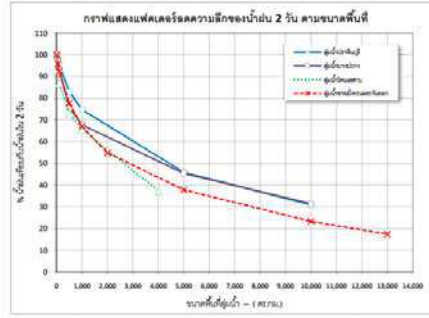
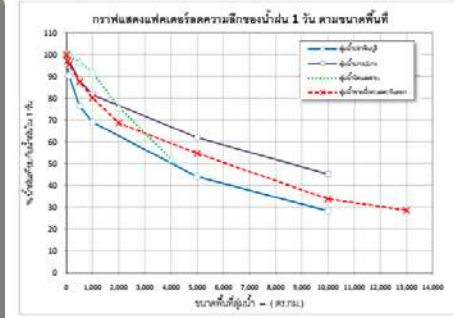
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

(13)

Vegetation	Condition	Cover Factor C_t
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

30

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ



31

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธี Rational Method	<ul style="list-style-type: none"> เป็นวิธีการที่วิศวกรส่วนใหญ่นิยมใช้เนื่องจากการคำนวณไม่ซับซ้อน สามารถคำนวณอัตราการไหลสูงสุด (Q_{peak}) ได้ในจุดพิจารณาที่ไม่มีสถานีตรวจวัดได้ ไม่จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานทางอุทกวิทยาขั้นสูง เนื่องจากตัวแปรที่จำเป็นในการคำนวณมีเพียง 3 ค่าคือ 1) ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient) จากการพิจารณาลักษณะดินและการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษาและเปิดตาราง 2) ช่วงเวลาการตกของน้ำฝน (Duration) ซึ่งคำนวณจากสมการ Time of Concentration (T_c) และ 3) ค่าความเข้มของน้ำฝน (Intensity) ซึ่งอ่านได้จาก IDF Curve ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ ซึ่งในกรณีที่มีการศึกษาไว้จากหน่วยงานต่างๆ ก็สามารถนำมาใช้ได้เลย จากข้อเด่นทั้ง 3 ประการ ดังที่กล่าวข้างต้น วิศวกรโดยส่วนใหญ่ จึงมักนิยมนำวิธีนี้มาใช้ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ เพราะข้อมูลที่จำเป็นต้องนำมาใช้คืออัตราการไหลสูงเท่านั้น 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ได้กับเฉพาะพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีขนาดไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร คำนวณได้เฉพาะอัตราการไหลสูงสุด แต่ไม่สามารถคำนวณปริมาณรวมทั้งวันได้ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างที่ไม่มีอิทธิพลของปริมาณตราบเท่าเท่านั้น เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึงการประเมินลักษณะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำ (เพื่อคำนวณ Time of Concentration) ดังนั้นวิศวกรจึงจำเป็นต้องมีความรู้ในการใช้ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ IDF Curve ที่มีอยู่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงให้มีความเป็นปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบการเกิดฝนในสภาพปัจจุบัน ซึ่งผู้สร้าง IDF curve ต้องมีความรู้พื้นฐานในทฤษฎีสถิติทางอุทกวิทยา

32

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

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

33

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธีการความถี่น้ำท่วมแบบ ลุ่มน้ำรวม (Regional Flood Frequency Analysis)	<ul style="list-style-type: none"> มีวิธีการคำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อน ถ้าพื้นที่ศึกษา มีการสร้างความสัมพันธ์แบบลุ่มน้ำรวม ต่างๆ ไว้พร้อมต่อการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ย (Q_p) กับพื้นที่ลุ่มน้ำ (A) และความสัมพันธ์ระหว่าง Q_p กับปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ (Q_p) สามารถใช้กับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำท่าได้ สามารถใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดมากกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตรขึ้นไปได้ ขึ้นอยู่กับช่วงของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ลุ่มน้ำรวม 	<ul style="list-style-type: none"> ในการคำนวณจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Q_p-A และ Q_p กับ Q_p ดังนั้นหากจำเป็นต้องมีการปรับปรุงข้อมูลให้มีความเป็นปัจจุบัน จะต้องใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากหลายๆ สถานีมาทำการวิเคราะห์ และต้องใช้ความรู้ ความเข้าใจที่ดีในหลักสถิติทางอุทกวิทยา เนื่องจากวิธีการนี้ประเมินจากข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาของสถานีต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนั้นหากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างจากลักษณะโดยทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำมาก อัตราการไหลที่ประเมินได้อาจจะไม่สอดคล้องกับอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง ถ้าใช้วิธีนี้กับพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำนอกช่วงจากสถานีที่นำมาสร้างความสัมพันธ์ต่างๆ อาจส่งผลต่อการผิดพลาดในการคำนวณได้

34

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

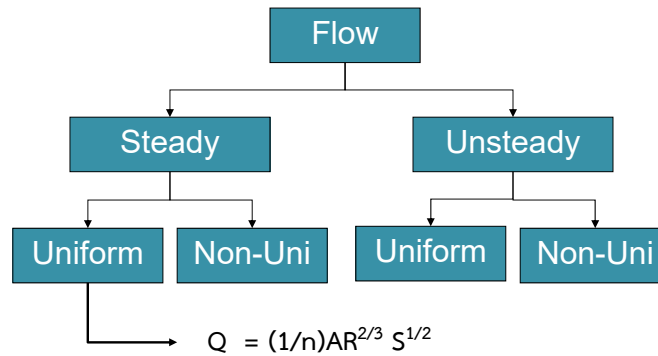
วิธีการ	ข้อเด่น	ข้อจำกัด
วิธีการพินิจหน่วยน้ำทำสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph)	<ul style="list-style-type: none"> เป็นวิธีการที่สามารถประเมินได้ทั้งอัตราการไหลสูงสุดและปริมาตรกราฟน้ำนองในพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ออกแบบอาคารชลศาสตร์ที่มีอิทธิพลจากปริมาตรเก็บกัก เช่นอ่างเก็บน้ำ หรือหนองน้ำ เป็นต้น สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่ไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำทำได้ ด้วยการกำหนดค่าคุณลักษณะเฉพาะต่างๆ ของลุ่มน้ำ สามารถคำนวณกราฟน้ำหลากได้ทั้งแบบที่เกิดจากน้ำฝนเหตุการณ์เดียว (Single Event) และเหตุการณ์น้ำฝนแบบต่อเนื่อง (Continuous Event) 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ได้กับพื้นที่ที่มีขนาดไม่เกิน 1,000 ตารางกิโลเมตร เนื่องจากต้องใช้จ่ายเงินต้องใช้ข้อมูลลักษณะทางด้านกายภาพของลุ่มน้ำ ดังนั้นวิศวกรจึงจำเป็นต้องมีความรู้ในด้านการใช้ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ จำเป็นต้องทราบลักษณะของดินในพื้นที่เพื่อประเมินอัตราการซึมผ่านได้ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลกราฟฝนเตอร์ลัดน้ำฝนตามขนาดพื้นที่ ซึ่งหากในพื้นที่ศึกษาไม่มีข้อมูลนี้จำเป็นต้องสร้างขึ้นมา ซึ่งต้องใช้พื้นฐานทางอุทกวิทยา ตลอดจนข้อมูลสถิติฝนและน้ำทำนองในอดีตจากสถานีตรวจวัดจำนวนมาก วิธีการนี้ใช้ความสัมพันธ์ของน้ำฝนเพื่อประเมินน้ำท่า ดังนั้นถ้าในพื้นที่ศึกษามีข้อมูลน้ำฝนอย่างจำกัดอาจส่งผลกระทบต่อผลการประเมินกราฟน้ำท่าที่สูงหรือต่ำเกินไปได้

35

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลในทางน้ำเปิด



36

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

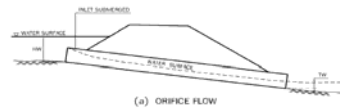
➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

• การไหลแบบ Inlet Control

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

- 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)



37

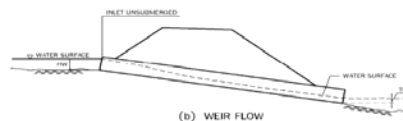
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

• การไหลแบบ Inlet Control

Weir Flow ระดับน้ำทางปากท่อจะไม่สูงท่วมปากท่อ (และความลาดเอียงของท่อจะเป็นแบบชัน (Steep Slope คือ ความลาดเอียงที่ทำให้การไหลในสภาพ Uniform Flow เป็นแบบ Supercritical Flow ความลาดเอียงนี้จะมีค่ามากกว่าความลาดเอียงวิกฤติ หรือ Critical Slope ซึ่งเป็นความลาดเอียงที่ทำให้เกิดการไหลแบบ Critical Flow) มีรูปแบบสมการการคำนวณที่ไม่แน่นอน จึงมักไม่นิยมใช้เป็นสมมติฐานในการออกแบบ



38

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

- การไหลแบบ Inlet Control ท่อกลม

Adapted from *Handbook of Public Works* Jan. 1963

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

- การไหลแบบ Inlet Control ท่อเหลี่ยม

Adapted from *Handbook of Public Works* Jan. 1963

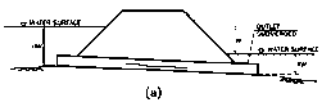
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

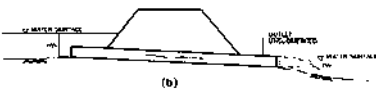
การไหลผ่านท่อลอด

- การไหลแบบ Outlet Control

การไหลแบบเต็มท่อ (Full Pipe Flow)

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


(a)



(b)

H คือ ผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ (เมตร)

K_e คือ สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานที่ปากท่อ

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/วินาที²)

V คือ ความเร็วการไหลของน้ำ (เมตร/วินาที)

41

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

Entrance Loss Coefficients.	
Outlet Control, Full or Partly Full Entrance Head Loss	
$H_e = K_e \frac{V^2}{2g}$	
Type of Structure and Design of Entrance	Coefficient K_e
• Pipe, Concrete	
Projecting from fill, socket end (groove-end)	0.2
Projecting from fill, sq. cut end	0.5
Headwall or headwall and wingwalls	0.2
Socket end of pipe (groove-end)	0.5
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 edges, 33° or 45° bevels	0.2
Side- or slope-tapered inlet	0.2
• Pipe, or Pipe-Arch, Corrugated Metal	
Projecting from fill (no headwall)	0.8
Headwall or headwall and wingwalls square-edge	0.5
Mitered to conform to fill slope, paved or unpaved slope	0.7
*End-Section conforming to fill slope	0.5
Beveled edges, 33° or 45° bevels	0.2
Side- or slope-tapered inlet	0.2
• Box, Reinforced Concrete	
Headwall parallel to embankment (no wingwalls)	0.5
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° to 75° to barrel	0.4
Square-edged at crown	0.2
Crown edge rounded to radius of D/12 or beveled top edge	0.2
Wingwall at 10° to 35° to barrel	0.5
Square-edged at crown	0.5
Wingwalls parallel (extension of sides)	0.7
Square-edged at crown	0.2
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 glass laper in their design have a superior hydraulic performance. These latter sections can be designed using the information given for the beveled inlet.

42

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

- การไหลแบบ Outlet Control
 - การไหลแบบเต็มท่อ (Full Pipe Flow)
 - 1) กำหนดขนาด ความยาว และความลาดชันของท่อที่จะนำมาใช้
 - 2) คำนวณความเร็วการไหลในท่อ กรณีการไหลแบบเต็มท่อ
 - 3) คำนวณผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ จากสมการข้างต้น
 - 4) ใช้แผนภูมิการไหลกรณีแบบเต็มท่อกำหนดอัตราการไหลผ่านท่อลอด

43

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

CHART 15A

SUBMERGED OUTLET CULVERT FLOWING FULL

Discharge (Q) in m³/s

Discharge (Q) in cfs

Head (H) in m

Head (H) in ft

Length (L) in m

EXAMPLE

HEAD FOR CONCRETE BOX CULVERTS FLOWING FULL
n=0.012

Source: From "Handbook of Hydraulics" 1989

44

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

การไหลแบบน้ำไม่เต็มท่อ (Partly Full Flow)
 การคำนวณหาปริมาณน้ำในกรณีเป็น Outlet Control และน้ำไหลไม่เต็มท่อนี้เป็นเรื่องยุ่งยากมาก ดังนั้นในการออกแบบจึงมักจะหลีกเลี่ยงการไหลประเภทนี้เสมอ

45

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

การไหลแบบน้ำไม่เต็มท่อ (Partly Full Flow)
 การคำนวณหาปริมาณน้ำในกรณีเป็น Outlet Control และน้ำไหลไม่เต็มท่อนี้เป็นเรื่องยุ่งยากมาก ดังนั้นในการออกแบบจึงมักจะหลีกเลี่ยงการไหลประเภทนี้เสมอ

46

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

- ความเร็วสูงสุดในท่อที่นิยมใช้กันประมาณ 2.00 - 3.00 เมตร/วินาที
- ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อ ไม่ควรจะให้สูงจนทำให้เกิดการกัดเซาะพื้นชั้นได้ เว้นเสียแต่จะมีการทำโครงสร้างเพื่อใช้ป้องกันการกัดเซาะ
 - 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.หรือปลอกหญ้า 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

47

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารระบายน้ำ

➤ ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์

การไหลผ่านท่อลอด

- ความความลาดเอียงของท่อลอดควรออกแบบให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับความลาดเอียงของพื้นลำธาร ความลาดเอียงที่น้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5% (1 on 200) ถึง 0.33%(1 on 300) ถ้าเป็นไปได้ควรวางท่อให้เอียงประมาณ 1% หรือมากกว่า
- การออกแบบท่อลอด จะต้องอาศัยวิธีการสมมุติค่า และทดสอบ (Trial and error) คือเลือกขนาดท่อขนาดหนึ่ง แล้วตรวจสอบดูว่าน้ำจะสามารถไหลผ่านได้ ตามอัตราที่กำหนดไว้หรือไม่ ปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีการเช่นนี้ คือ ในขั้นแรกเราไม่ทราบว่าลักษณะการไหลจะเป็นแบบ Inlet Control หรือ Outlet Control โดยทั่วไปถ้าความลาดเอียงของท่อเท่ากับหรือมากกว่า 1% การไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้าน้อยกว่า 0.5% จะเป็นแบบ Outlet Control แต่เพื่อความแน่นอนจะต้องทดสอบลักษณะการไหลเสมอ

48

ทฤษฎีของแบบจำลอง

แบบจำลองคณิตศาสตร์

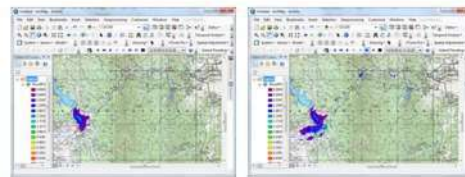
- สำหรับแบบจำลองซึ่งจะนำมาศึกษาในโครงการ ต้องสามารถจำลองสภาพการเกิดน้ำท่วมและการไหลในทุ่งน้ำท่วม แบบ 2 มิติ ได้ ซึ่งลักษณะการไหลแบบ 2 มิติ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการอนุรักษ์พลังงานและสามารไม่เนตัม
- แบบจำลอง MIKE FLOOD : เป็นแบบจำลองการไหลของน้ำหลากที่รวมคุณสมบัติการจำลองสภาพการไหลในแม่น้ำ หรือทางน้ำเปิด (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)

49

ทฤษฎีของแบบจำลอง

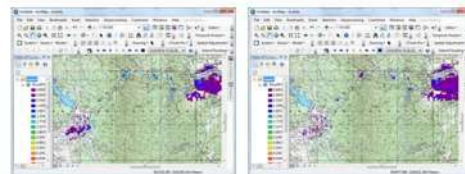
แบบจำลองคณิตศาสตร์

ตัวอย่างการจำลองการไหลในช่วงเวลาต่างๆ ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนด ด้วยแบบจำลอง MIKE FLOOD และโปรแกรม ArcGIS 10



(ก) ชั่วโมงที่ 1

(ข) ชั่วโมงที่ 3



(ค) ชั่วโมงที่ 5

(ง) ชั่วโมงที่ 7

50

ทฤษฎีของแบบจำลอง

จุดเด่นของแบบจำลอง

- 1) สามารถคำนวณการไหลแบบ 1 มิติ รวมไปถึงการคำนวณการไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ต่างๆ และสิ่งกีดขวางลำน้ำ เช่น ฝาย ประตูระบายน้ำ ท่อลอด เครื่องสูบน้ำ แก้มลิง สะพาน
- 2) ใช้แบบจำลอง NAM เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าจากฝน
- 3) การคำนวณการไหลแบบ 2 มิติ
- 4) สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม ArcGIS ได้โดยการเตรียมข้อมูลนำเข้าและการแสดงผลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
- 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

51

..จบการนำเสนอ..



52

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) คือ กระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยการกำหนดข้อมูลเชิงบรรยายหรือข้อมูลคุณลักษณะ (attribute data) และสารสนเทศ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ (spatial data) เช่น ตำแหน่งบ้าน ถนน แม่น้ำ เป็นต้น ในรูปของ ตารางข้อมูล และ ฐานข้อมูล

ระบบ GIS ประกอบไปด้วยชุดของเครื่องมือที่มีความสามารถในการเก็บรวบรวม ปรับปรุงและการสืบค้นข้อมูล เพื่อจัดเตรียม ปรับแต่ง วิเคราะห์และการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS ให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาได้ เช่น

- การแพร่ขยายของโรคระบาด
- การเคลื่อนย้ายถิ่นฐาน
- การบุกรุกทำลาย
- การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่

ข้อมูลเหล่านี้ เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปล สื่อความหมาย และนำไปใช้งานได้ง่าย

ข้อมูลใน GIS ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย สามารถอ้างอิงถึงตำแหน่งที่มีอยู่จริงบนพื้นโลกได้โดยอาศัยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (geocode) ซึ่งจะสามารถอ้างอิงได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ข้อมูลใน GIS ที่อ้างอิงกับพื้นผิวโลกโดยตรง หมายถึง ข้อมูลที่มีค่าพิกัดหรือมีตำแหน่งจริงบนพื้นโลกหรือในแผนที่ เช่น ตำแหน่งอาคาร ถนน ฯลฯ สำหรับข้อมูล GIS ที่จะอ้างอิงกับข้อมูลบนพื้นโลกได้โดยทางอ้อมได้แก่ ข้อมูลของบ้าน (รวมถึงบ้านเลขที่ ซอยเขต แขวง จังหวัด และรหัสไปรษณีย์) โดยจากข้อมูลที่อยู่ เราสามารถทราบได้ว่าบ้านหลังนี้มีตำแหน่งอยู่ ณ ที่ใดบนพื้นโลก เนื่องจากบ้านทุกหลังจะมีที่อยู่ไม่ซ้ำกัน

องค์ประกอบของระบบ GIS

องค์ประกอบหลักของระบบ GIS จัดแบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ (hardware) โปรแกรม (software) ขั้นตอนการทำงาน (methods) ข้อมูล (data) และบุคลากร (people) โดยมีรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ คือ เครื่องคอมพิวเตอร์รวมไปถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ เช่น ดิจิไทเซอร์ สแกนเนอร์ เครื่องพิมพ์ หรืออื่น ๆ เพื่อใช้ในการนำเข้าข้อมูล ประมวลผล แสดงผล และผลิตผลลัพธ์ของการทำงาน
2. โปรแกรม คือชุดของคำสั่งสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม QGIS, ArcGIS, MapInfo ฯลฯ ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชัน การทำงานและเครื่องมือที่จำเป็นต่าง ๆ สำหรับนำเข้าและปรับแต่งข้อมูล, จัดการระบบฐานข้อมูล, เรียกค้น, วิเคราะห์ และ จำลองภาพ
3. ข้อมูล คือข้อมูลต่าง ๆ ที่จะใช้ในระบบ GIS และถูกจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูล โดยได้รับการดูแลจากระบบจัดการฐานข้อมูลหรือ DBMS ข้อมูลจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญรองลงมาจากบุคลากร
4. บุคลากร คือ ผู้ปฏิบัติงานซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น ผู้นำเข้าข้อมูล ช่างเทคนิค ผู้ดูแลระบบฐานข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล ผู้บริหารซึ่งต้องใช้ข้อมูลในการตัดสินใจ บุคลากรจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบ GIS เนื่องจากถ้าขาดบุคลากร ข้อมูลที่มีอยู่มากมายมหาศาลนั้น ก็จะเป็นเพียงขยะไม่มีคุณค่าใดเลยเพราะไม่ได้ถูกนำไปใช้งาน อาจจะถูกกล่าวได้ว่า ถ้าขาดบุคลากรก็จะมีระบบ GIS
5. วิธีการหรือขั้นตอนการทำงาน คือวิธีการที่องค์กรนั้นๆ นำเอาระบบ GIS ไปใช้งานโดยแต่ละ ระบบแต่ละองค์กรย่อมมีความแตกต่างกันออกไป ฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องเลือกวิธีการในการจัดการกับปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับของหน่วยงานนั้นๆ เอง

การทำงานของระบบ GIS

หน้าที่หลัก ๆ ของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีอยู่ด้วยกัน 5 อย่างดังนี้

1. การนำเข้าข้อมูล (input) ก่อนที่ข้อมูลทางภูมิศาสตร์จะถูกใช้งานได้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ข้อมูลจะต้องได้รับการแปลง ให้มาอยู่ในรูปแบบของข้อมูล เชิงตัวเลข (digital format) เสียก่อน เช่น จากแผนที่กระดาษไปสู่ข้อมูลใน รูปแบบดิจิทัลหรือเพิ่มข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์ที่ใช้ในการนำเข้าเช่น Digitizer Scanner หรือ Keyboard เป็นต้น
2. การปรับแต่งข้อมูล (manipulation) ข้อมูลที่ได้รับเข้าสู่ระบบบางอย่างจำเป็นต้องได้รับการปรับแต่งให้เหมาะสมกับงาน เช่น ข้อมูลบางอย่างมีขนาด หรือสเกล (scale) ที่แตกต่างกัน หรือใช้ระบบพิกัดแผนที่ที่แตกต่างกัน ข้อมูลเหล่านี้จะต้องได้รับการปรับให้อยู่ใน ระดับเดียวกันเสียก่อน
3. การบริหารข้อมูล (management) ระบบจัดการฐานข้อมูลหรือ DBMS จะถูกนำมาใช้ในการบริหารข้อมูลเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพในระบบ GIS DBMS ที่ได้รับการเชื่อถือและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดคือ DBMS แบบ Relational หรือระบบจัดการฐานข้อมูลแบบสัมพันธ์ (RDBMS) ซึ่งมีหลักการทำงานพื้นฐาน ดังนี้คือ ข้อมูลจะถูกจัดเก็บ ในรูปของตารางหลาย ๆ ตาราง

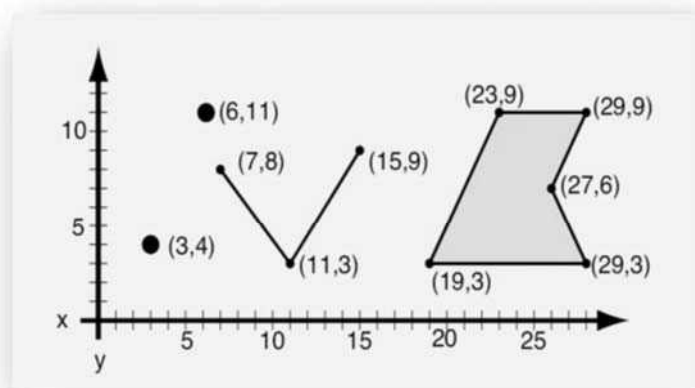
4. การเรียกค้นและวิเคราะห์ข้อมูล (query and analysis) เมื่อระบบ GIS มีความพร้อมในเรื่องของข้อมูลแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การนำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ให้เกิด ประโยชน์ เช่น ใครคือเจ้าของกรรมสิทธิ์ในที่ดินผืนที่ติดกับโรงเรียน? เมืองสองเมืองนี้มีระยะห่างกันกี่กิโลเมตร? ดินชนิดใดบ้างที่เหมาะสมสำหรับปลูกอ้อย? หรือ ต้องมีการสอบถามอย่างง่าย ๆ เช่น ซี่เมาส์ไปในบริเวณที่ต้องการแล้วคลิก (point and click) เพื่อสอบถามหรือเรียกค้นข้อมูล นอกจากนี้ระบบ GIS ยังมีเครื่องมือในการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์เชิงประมาณค่า (proximity หรือ buffer) การวิเคราะห์เชิงซ้อน (overlay analysis) เป็นต้น
5. การนำเสนอข้อมูล (visualization) จากการดำเนินการเรียกค้นและวิเคราะห์ข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของตัวเลขหรือตัวอักษร ซึ่งยากต่อการตีความหมายหรือทำความเข้าใจ การนำเสนอข้อมูลที่ดี เช่น การแสดงชาร์ต (chart) แบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ รูปภาพจากสถานที่จริง ภาพเคลื่อนไหว แผนที่ หรือแม้กระทั่งระบบมัลติมีเดีย สื่อต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้ผู้ใช้เข้าใจความหมายและมองภาพของผลลัพธ์ที่กำลังนำเสนอได้ดียิ่งขึ้นอีก

ลักษณะข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

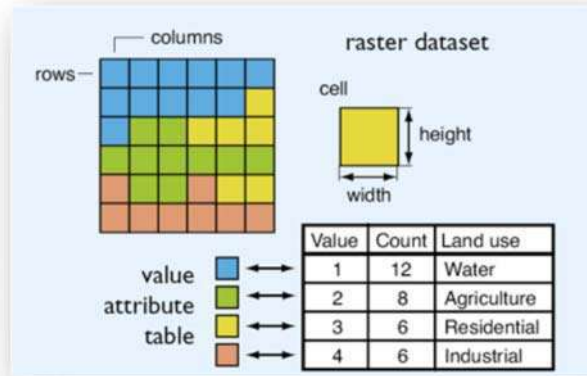
โลกมีความสลับซับซ้อนมากเกินกว่าที่จะเก็บข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับโลกไว้ในรูปข้อมูลด้วยระบบคอมพิวเตอร์ จึงต้องเปลี่ยนปรากฏการณ์บน ผิวโลกจัดเก็บในรูปของตัวเลขเชิงรหัส (digital form) โดยแทนปรากฏการณ์เหล่านั้นด้วยลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เรียกว่าฟีเจอร์ (feature) หรือเวกเตอร์ (Vector) (source: <https://th.wikipedia.org/wiki/ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์>)

ประเภทของข้อมูล GIS

Vector Data หมายถึง ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ได้แก่ ข้อมูล Graphic หรือ Object ที่เป็นสัญลักษณ์แทนสภาพพื้นที่จริง ได้แก่ POINT LINE POLYGON และประกอบด้วยข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data) ได้แก่ ชุดตาราง ที่ทำหน้าที่อธิบาย ข้อมูลเชิงพื้นที่



Raster Data หมายถึง ข้อมูลจุดภาพ Raster Data ข้อมูลที่มีโครงสร้างเป็นช่องเหลี่ยมเรียกว่า จุดภาพ หรือ Grid cell เรียงต่อเนื่องกันในแนวราบและแนวตั้ง ในแต่ละจุดภาพสามารถเก็บค่าได้ 1 ค่า ความสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ ณ จุดพิกัดที่ประกอบขึ้นเป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งจุดนั้น ค่าที่เก็บในแต่ละจุดภาพสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ หรือรหัสที่ใช้อ้างอิงถึงข้อมูลลักษณะสัมพันธ์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลก็ได้ Raster Data อาจแปรรูปมาจากข้อมูล Vector หรือแปรจาก Raster ไปเป็น Vector หรือแปรจาก Raster ไปเป็น Vector



(source: gist.soc.cmu.ac.th/gistnorth/index.php)

คู่มือการใช้งานโปรแกรม QGIS

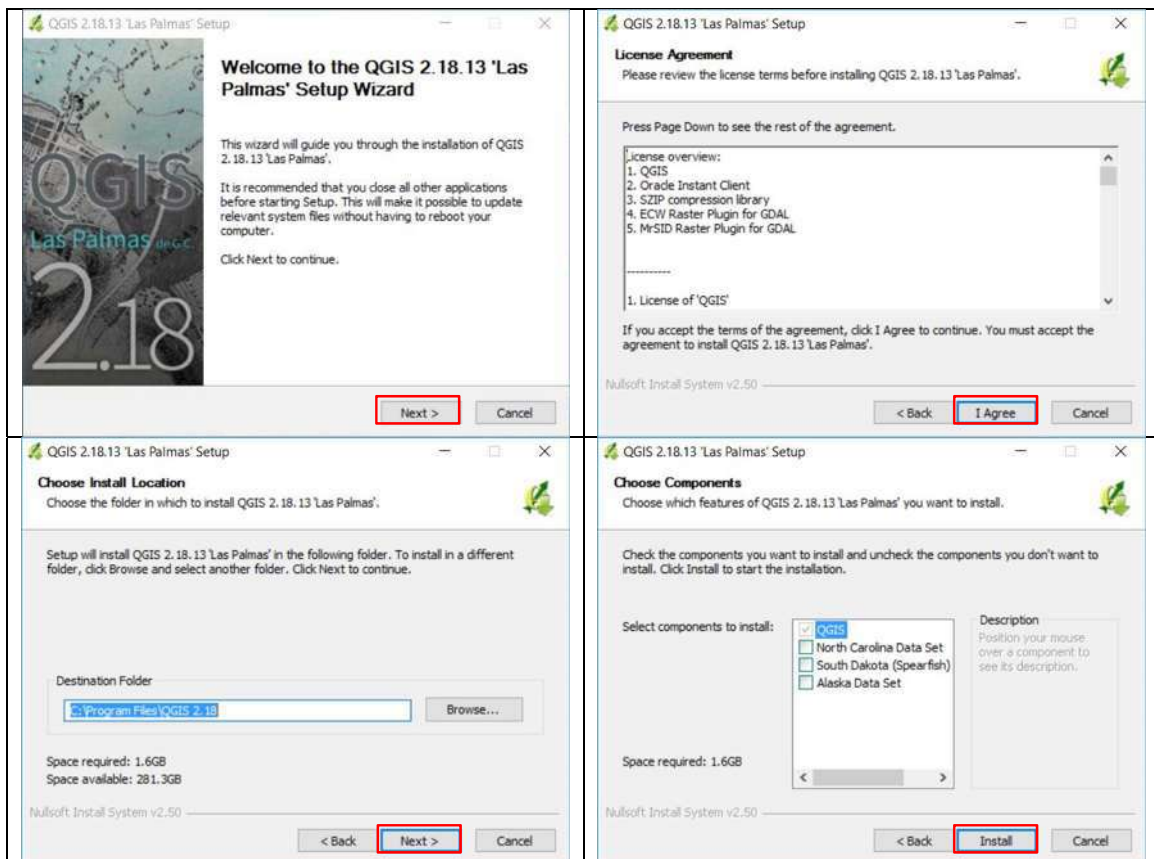
QGIS หรือ Quantum GIS เป็นโปรแกรม Opensource ที่สามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows Linux หรือ Mac OS เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูล GIS (Geographic Information System)

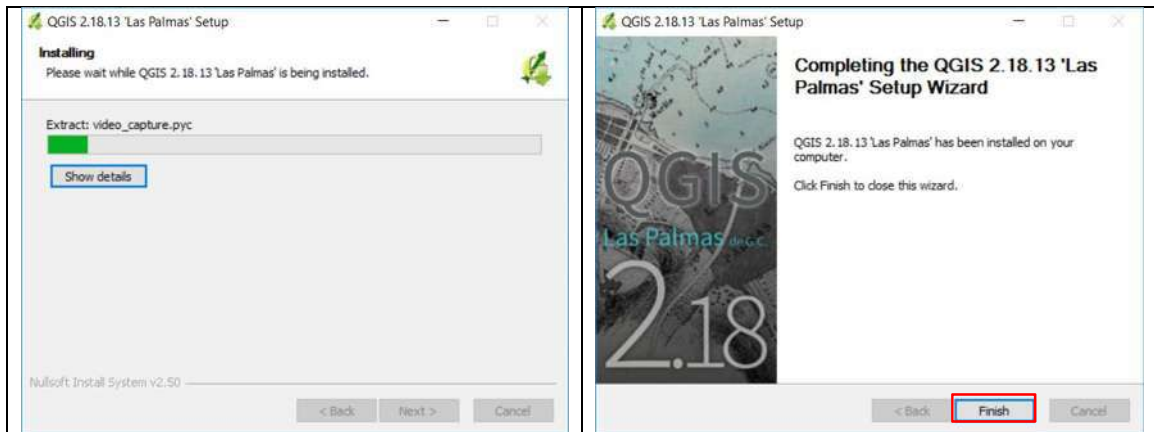
การติดตั้งโปรแกรม QGIS

สำหรับการติดตั้งโปรแกรม QGIS ท่านสามารถใช้ Web Browser ไปทำการ download โปรแกรมรุ่นล่าสุดได้ที่ <http://www.qgis.org/en/site/forusers/download.html> ซึ่งโปรแกรม QGIS สนับสนุนระบบปฏิบัติการ Linux, Mac OSX และ Microsoft Windows

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม QGIS สำหรับระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows

- ▶ Download QGIS จาก Website <http://www.qgis.org/en/site/>
- ▶ Download QGIS ล่าสุดได้จากเว็บไซต์ข้างต้น (QGIS Standalone Installer Version 2.18 (64 bit))
- ▶ Click to install



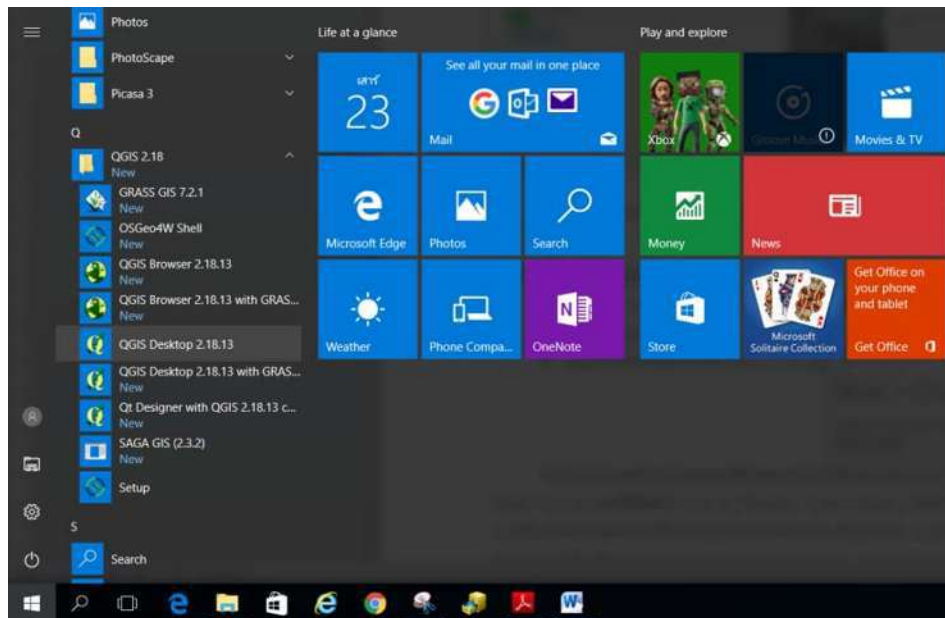


เมื่อติดตั้งเสร็จแล้วจะพบ ICON ของโปรแกรม QGIS ปรากฏอยู่ที่หน้าจอ (Desktop)

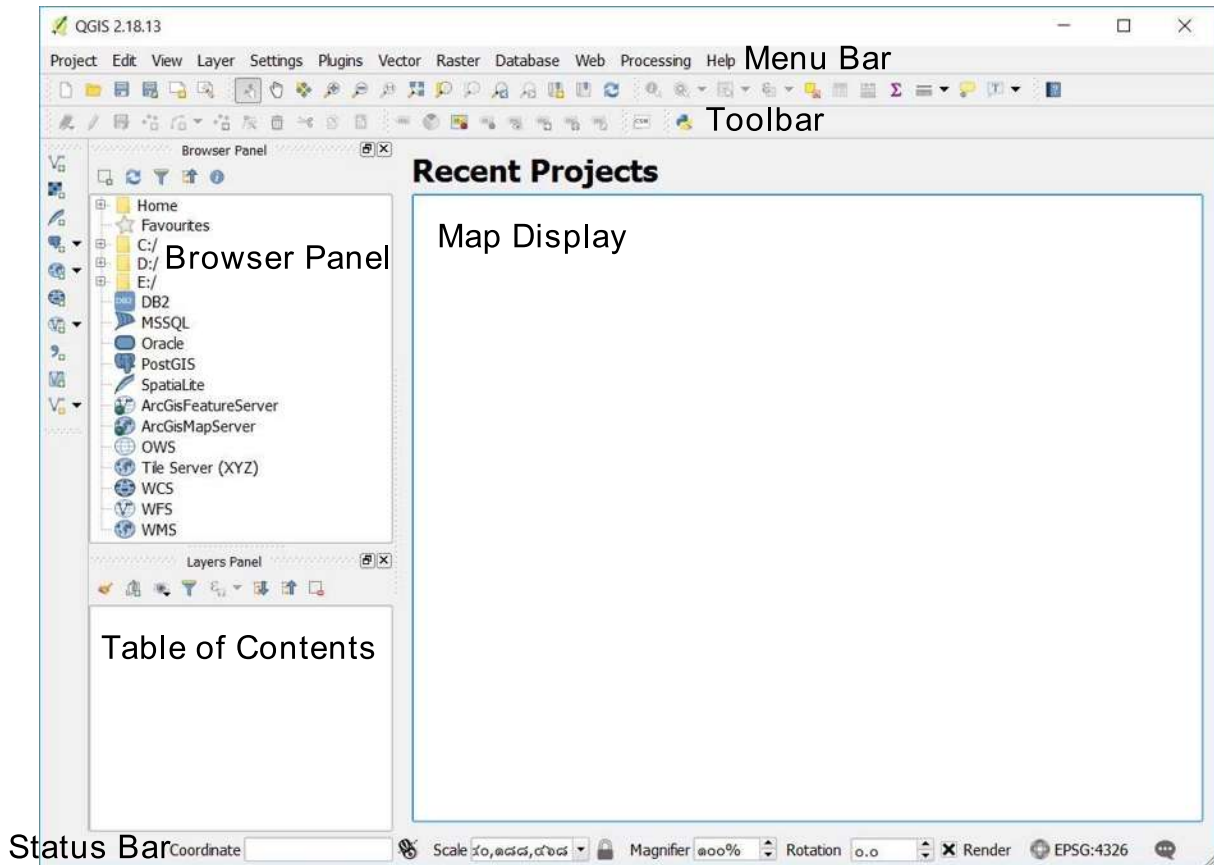


การเปิดใช้งานโปรแกรม QGIS

- หากมี Shortcut Icon ของ QGIS อยู่แล้ว ให้ดับเบิลคลิกที่ QGIS Desktop 2.18.13 เพื่อเปิดโปรแกรม
- หรือเปิดโปรแกรมจาก Start Menu > All apps > QGIS 2.18 > QGIS Desktop 2.18.13

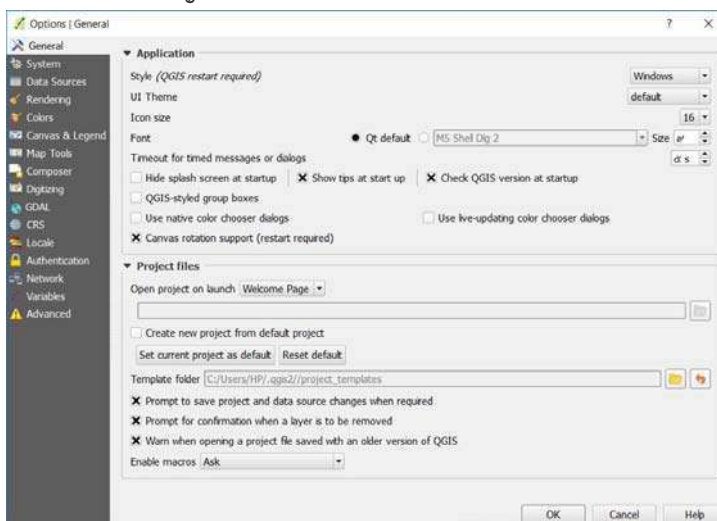


- Graphic User Interface (GUI) ของโปรแกรม QGIS มีองค์ประกอบและส่วนติดต่อผู้ใช้งาน เพื่อเรียกใช้งาน function ของ QGIS ผ่าน Menu bar, Button Bar และ Toolbar ต่างๆ ดังรูป



การกำหนดค่าเบื้องต้นให้แก่โปรแกรม QGIS

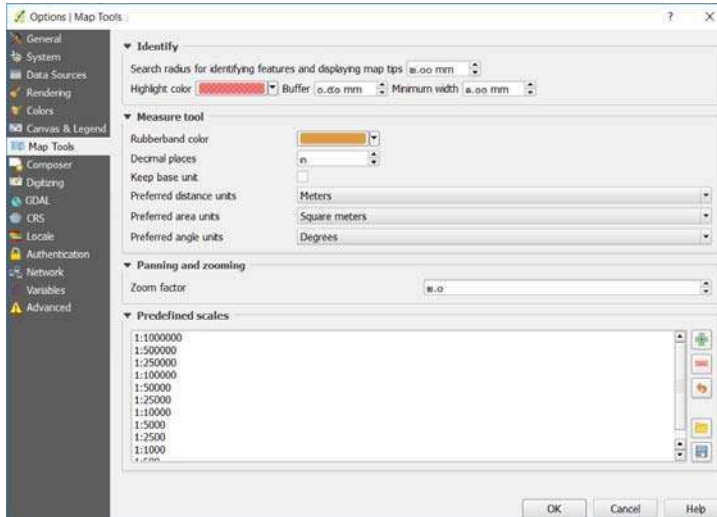
การกำหนดค่าเบื้องต้นให้กับโปรแกรม QGIS เป็นส่วนที่กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับโปรแกรมเพื่อให้สามารถทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ต้องการของผู้ใช้งาน โดยที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมที่สำคัญ ได้แก่



General Option

เป็นการกำหนดค่าเบื้องต้นให้กับโปรแกรม เช่น

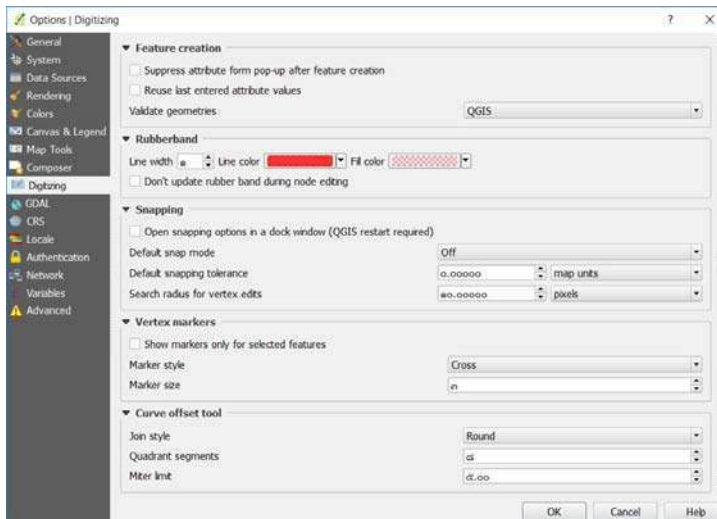
- กำหนดค่าการบันทึก
- ค่าสีของการเลือกข้อมูล
- ค่าสีของพื้นหลังแผนที่
- การตั้งค่าตัวอักษร



Map Tools

เป็นการกำหนดค่าให้กับการใช้งานของส่วนการแสดงผลแผนที่ โดยที่มึการกำหนดค่าที่น่าสนใจ ได้แก่

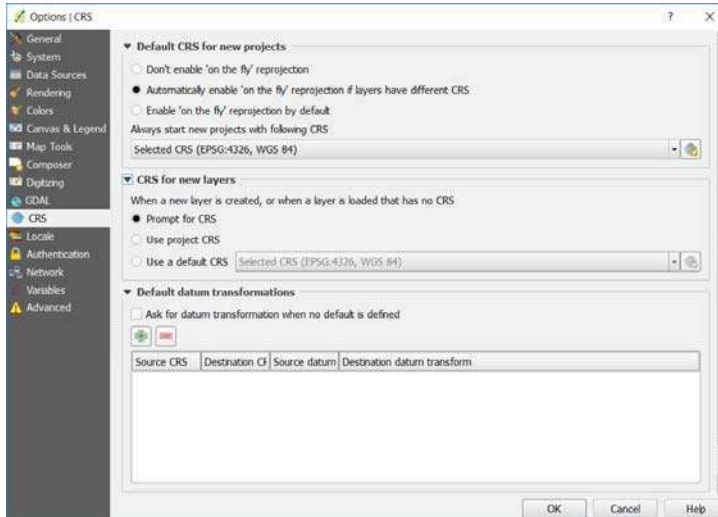
- การใช้เครื่องมือ Identify
- การใช้เครื่องมือการวัดและหน่วยการวัด
- การใช้เครื่องมือขยายย่อแผนที่และสัดส่วนของการย่อ ขยายเมื่อใช้ Scroll Mouse เป็นต้น



Digitizing

เป็นการกำหนดค่าให้กับการสร้างข้อมูล โดยที่มึการกำหนดค่าที่น่าสนใจ ได้แก่

- การแสดงผลของเส้นที่วาดทั้งขนาดและสี
- การกำหนดค่าของการเชื่อมระหว่าง feature และระยะของการเชื่อมต่อระหว่าง feature ทั้งที่เป็นระยะทางจริงและระยะในการแสดงผล
- การกำหนดการแสดงผลของการสร้างจุดทั้งรูปร่างและขนาด



CRS

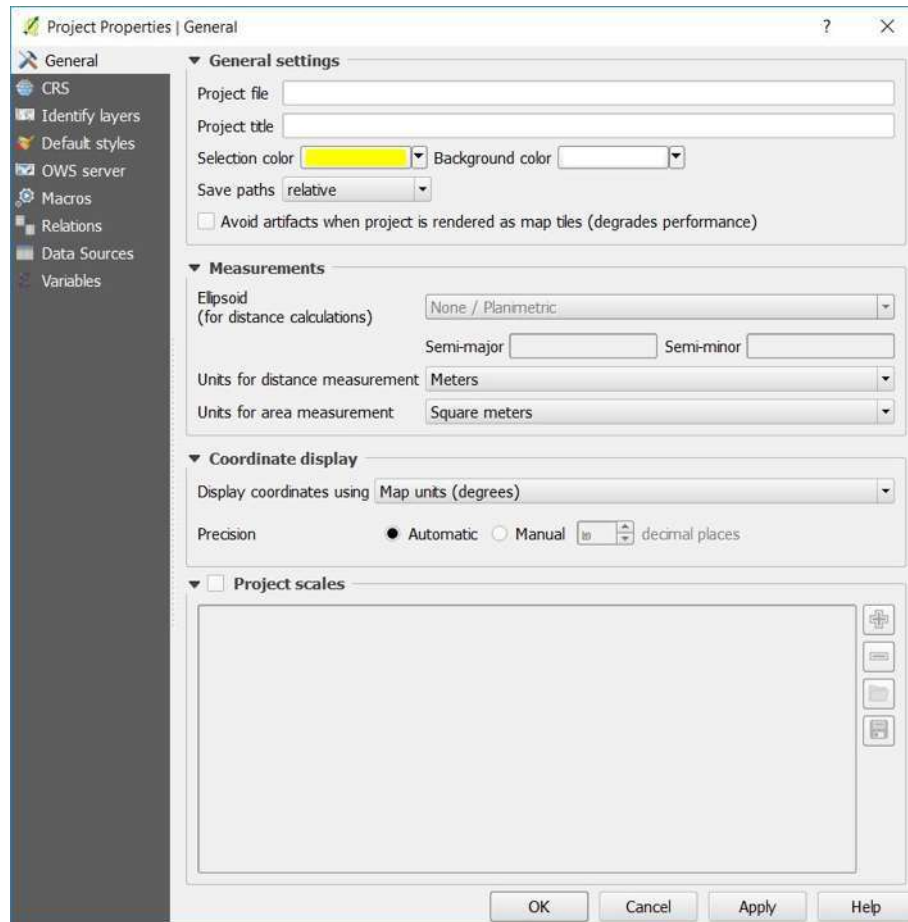
เป็นการกำหนดค่าให้กับระบบพิกัดเริ่มต้นให้แก่โปรแกรม โดยที่มีการกำหนดค่ามีเพียงระบุว่าทุกครั้งที่มีการสร้างโครงการจะให้ระบบพิกัด หรือให้ใช้ระบบพิกัดใด ซึ่งโดยปกติแล้วนิยมใช้ระบบพิกัดที่เป็น WGS1984 และเป็น Latitude, Longitude ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม

ส่วนผู้ที่ใช้ที่ต้องการใช้ระบบพิกัดอื่นที่เกี่ยวข้องให้เป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม เช่น UTM INDIAN 1975 หรือ UTM WGS1984 สามารถเลือกได้โดยกดที่คำสั่ง Select Global Default และโปรแกรมก็จะให้เลือกระบบพิกัดจากรายการหรือสามารถสืบค้นจากชื่อหรือชื่อ EPSG ได้เช่นกัน

การกำหนดค่าเบื้องต้นให้แก่โครงการ

การกำหนดค่าเบื้องต้นให้กับโครงการเป็นการกำหนดค่าของแต่ละโครงการ (Project) ที่เป็นเฉพาะแต่ละโครงการไม่มีผลกระทบต่อค่าของโปรแกรมแต่อย่างให้ ค่าที่กำหนดบางอย่างจะมีลักษณะการกำหนดเช่นเดียวกับโปรแกรม ขณะที่ค่าบางอย่างเป็นค่าเฉพาะสำหรับการกำหนดค่าเบื้องต้นของโครงการแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

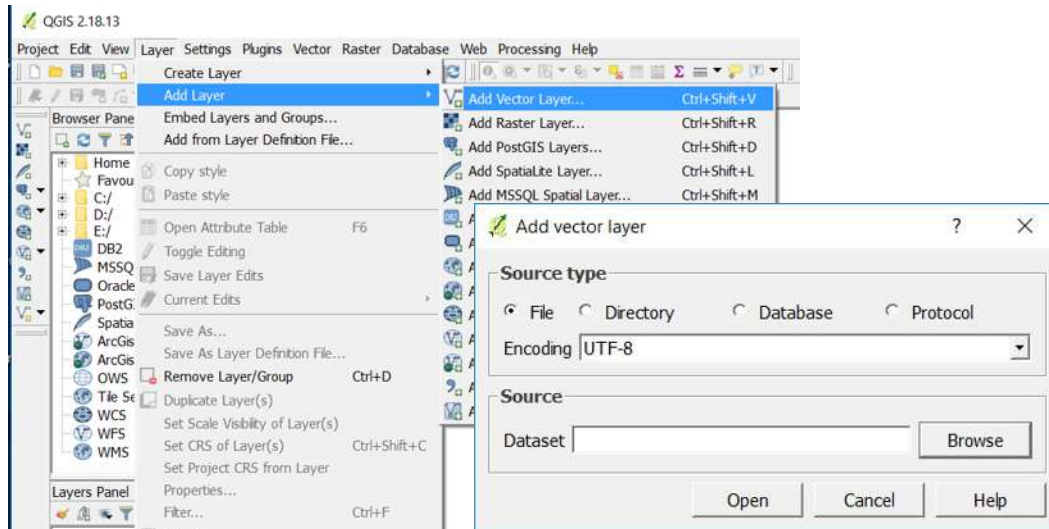
- General เป็นการกำหนดค่าทั่วไปเช่น ชื่อโครงการ กำหนดการแสดงสีเมื่อเลือก feature หน่วยวัดที่จะใช้งานบนแผนที่ ความละเอียดของการแก้ไขข้อมูล เป็นต้น
- Coordinate Reference System เป็นการระบุระบบพิกัดที่ใช้เฉพาะในโครงการที่เปิดอยู่
- Identifiable Layers เป็นการแสดงถึงชั้นข้อมูลที่มีอยู่ในโครงการและกำหนดว่าสามารถเลือกดูข้อมูลได้หรือไม่



การเรียกดูข้อมูลแผนที่เชิงเส้นแบบ vector data

ขั้นตอนการเรียกดูข้อมูลแผนที่เชิงเส้น ซึ่งมีลำดับดังนี้

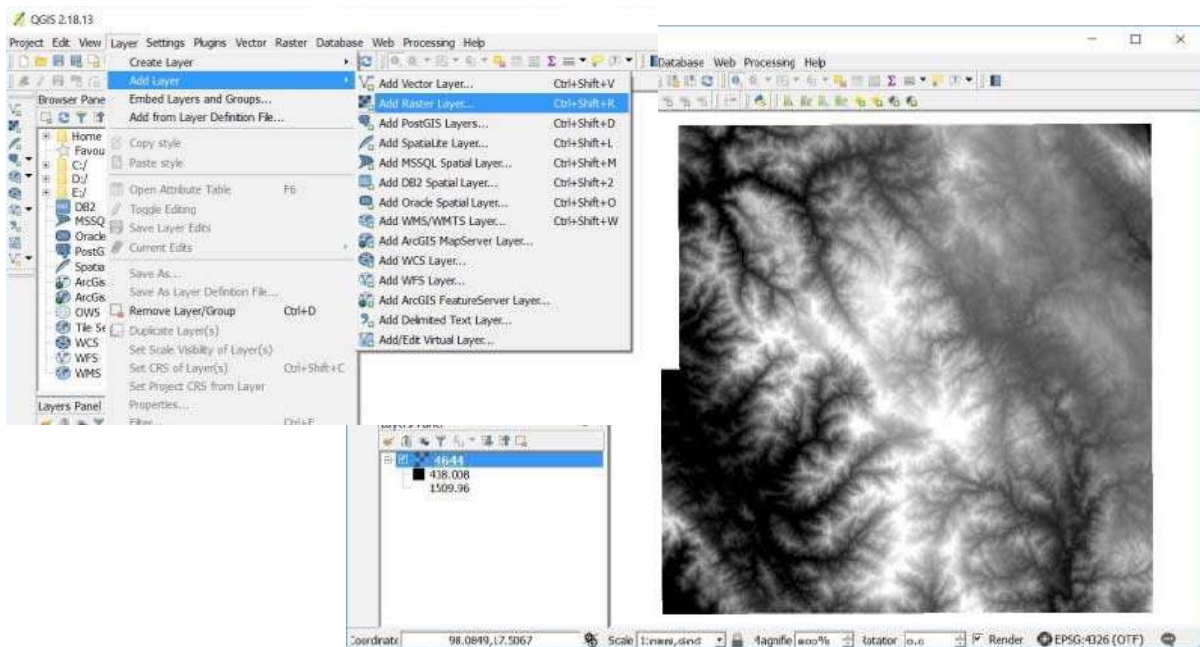
1. ไปที่คำสั่ง Add a Vector Layer ที่ Menu Bar หรือ สามารถไปใช้คำสั่งได้ที่ Add a Vector Layer จาก Layer menu
2. สำหรับ Source Type ให้เลือกเป็น File
3. เลือก Encoding เป็น System, TIS620 หรือ UTF-8
4. ไปที่ตำแหน่งของข้อมูลที่จัดเก็บ
5. สำหรับ "Files of type" drop-down box ให้เลือกเป็น ESRI ShapeFiles
6. เลือกชั้นข้อมูลที่ต้องการเปิด
7. Click Open
8. Map Display



การเรียกดูข้อมูลแผนที่ภาพเชิงตัวเลข raster data

ขั้นตอนการเรียกดูข้อมูลแผนที่ภาพเชิงตัวเลข ซึ่งมีลำดับดังนี้

1. ไปที่คำสั่ง Add a Raster Layer ที่ Menu Bar หรือ สามารถไปใช้คำสั่งได้ที่ Add a Raster Layer จาก Layer menu
2. ไปที่ตำแหน่งของข้อมูลที่จัดเก็บ
3. สำหรับ "Files of type" dropdown box ให้เลือกตามชนิดของข้อมูล เช่น GeoTiff
4. เลือกที่ต้องการเปิด
5. Click Open
6. Map Display



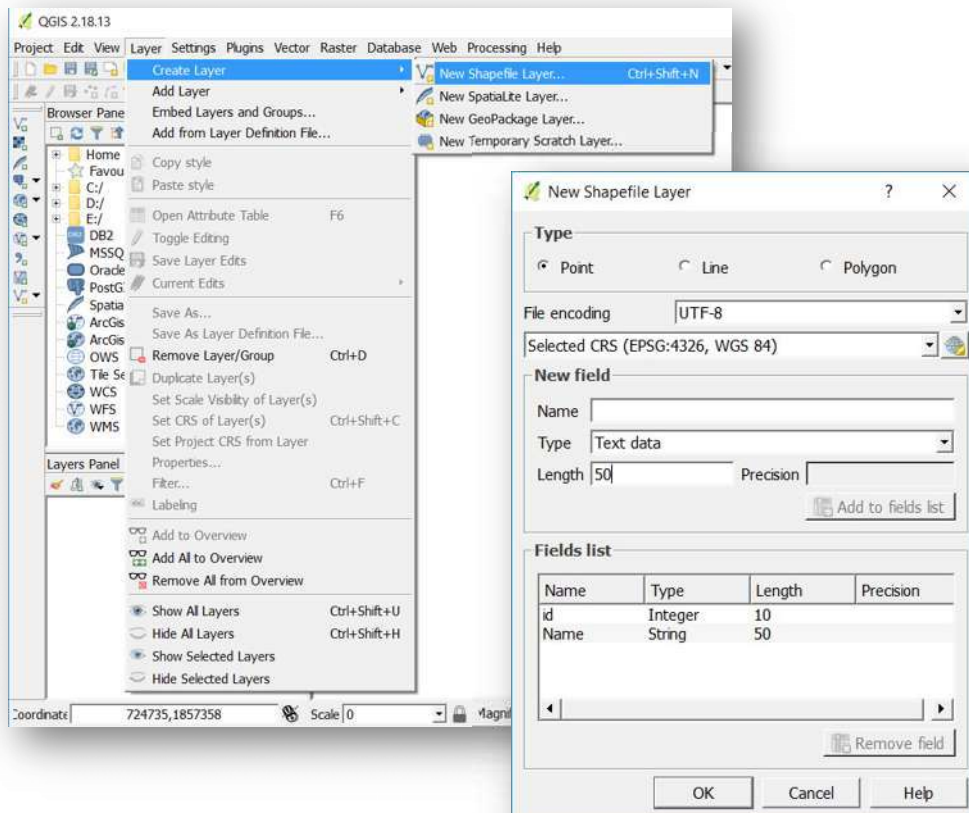
การสร้างข้อมูลแผนที่ด้วยวิธีการ Digitize

QGIS เหมือนกับโปรแกรมจัดการข้อมูลเชิงพื้นที่อื่นๆ ที่ต้องมีคำสั่งในการสร้างข้อมูล (Digitize) แต่ QGIS มีข้อดีที่โดดเด่นจากโปรแกรมอื่นๆ คือสามารถบันทึกข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบมากกว่าโปรแกรมทางการค้าอื่นๆ ทั้งนี้สามารถบันทึกข้อมูลเชิงพื้นที่ลงสู่ระบบฐานข้อมูลอย่างเช่น PostGIS ได้เช่นกัน

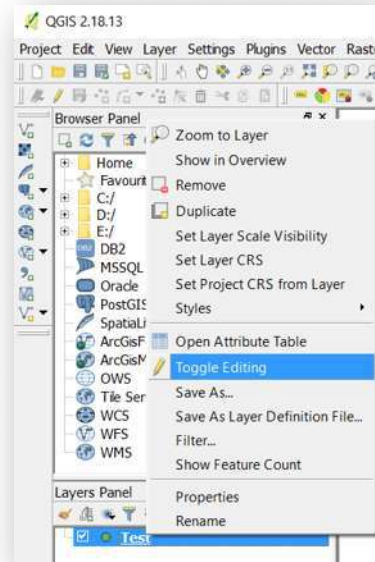
Digitizing

เริ่มต้นสร้างข้อมูลแผนที่ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกคำสั่ง New Vector Layer จาก Tool Bar หรือ Layer > New Vector Layer จาก Menu Bar
2. Dialog box New Vector Layer ให้ผู้สร้างข้อมูลกำหนดค่าต่างๆ ที่จำเป็น
3. กำหนดให้ข้อมูลเป็น จุด เส้น หรือ รูปปิด
4. กำหนดค่าระบบพิกัดให้แก่ข้อมูล
5. สร้างคุณสมบัติของข้อมูลตรงช่อง New field เช่น Name ให้มี Type เป็น Text data มีขนาดความกว้างเท่ากับ 50 ตัวอักษร แล้ว Click Add to attribute list
6. Click OK เมื่อสร้างคุณสมบัติให้แก่ชั้นข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว
7. บันทึกข้อมูลลงในตำแหน่งที่ต้องการ
8. Click Save
9. ตรวจสอบการมีอยู่ของ File ในตำแหน่งที่บันทึกไว้



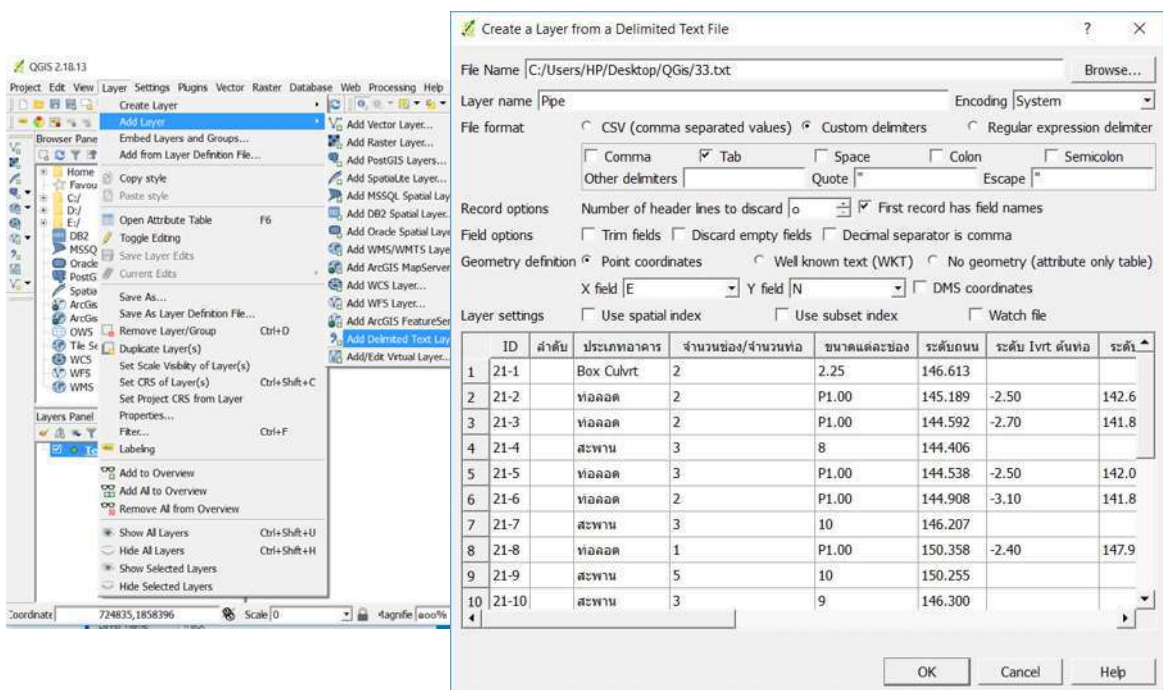
ข้อมูลที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นชั้นข้อมูลเปล่า ยังไม่มีจุด เส้น หรือรูปปิด ใดๆ ในชั้นข้อมูล ในการเริ่มสร้างข้อมูล ผู้สร้างข้อมูล สามารถเริ่มการสร้างโดยใช้คำสั่ง Toggle Editing ที่ Tool Bar หรือ Right Click ที่ชั้นข้อมูลและเลือกคำสั่ง Toggle Editing ได้เช่นกัน



การสร้างข้อมูลจากชุดข้อมูลตัวอักษรหรือ text file

ขั้นตอนการ Load ข้อมูลมีลำดับดังนี้

1. เลือกคำสั่ง Add Delimited Text Layer จาก Layer > Add Layer > Add Delimited Text Layer จาก Menu Bar
2. ใน Dialog box “File Name” ให้ Browse ไปยังที่จัดเก็บข้อมูล
3. กำหนดชื่อ Layer ที่ต้องการเพื่อให้ไปแสดงผลที่ Table of contents ตรง Layer name
4. เลือก X field/Y field จากคุณสมบัติของเอกสาร
5. Click OK



ตัวอย่างการสร้างพื้นที่รับน้ำ (Catchment) จากข้อมูล Dem

ขั้นตอนการสร้างพื้นที่รับน้ำมีลำดับดังนี้

1. เตรียมข้อมูลตำแหน่งท่อจากการใช้คำสั่ง Add Delimited Text Layer เมื่อทำตามขั้นตอนจะได้ข้อมูลตำแหน่งของท่อ

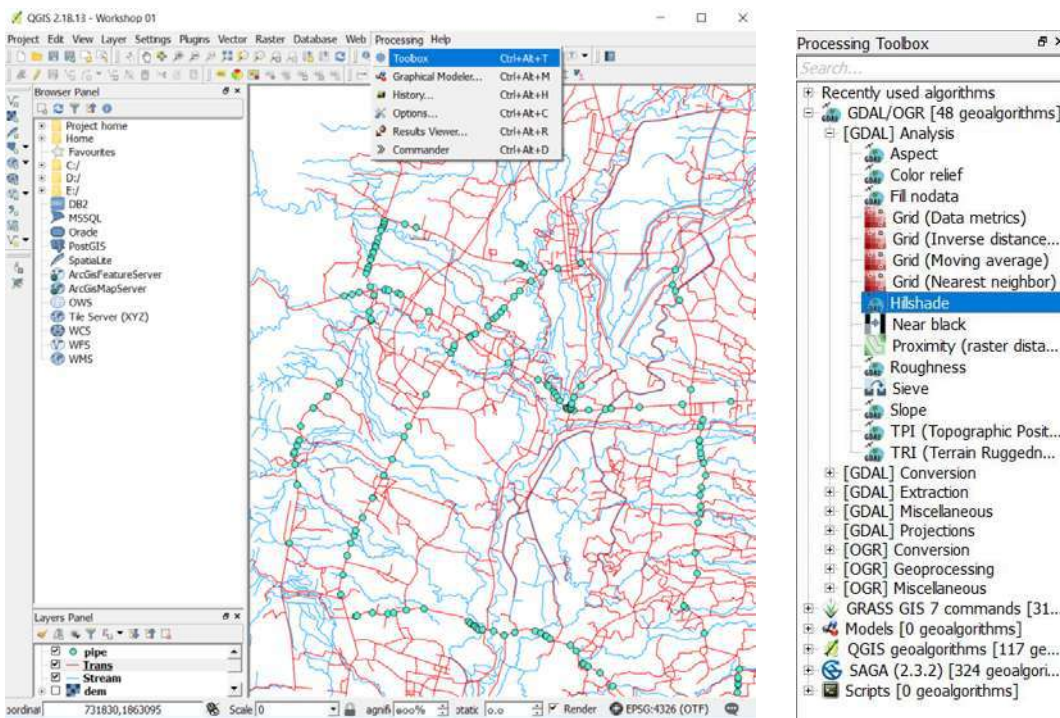
2. เปิดข้อมูล ถนน และน้ำ จากการใช้คำสั่ง Add a Vector Layer ที่ Menu Bar

3. เปิดข้อมูล Dem จากคำสั่ง Add a Raster Layer ที่ Menu Bar

4. นำข้อมูล Dem มาสร้างพื้นที่การตกกระทบของแสง (Hillshade) จากการเลือกคำสั่ง

Processing > Toolbox จาก Menu Bar จะปรากฏหน้าต่าง Processing Toolbox ที่ด้านขวาของหน้าต่าง Map Display

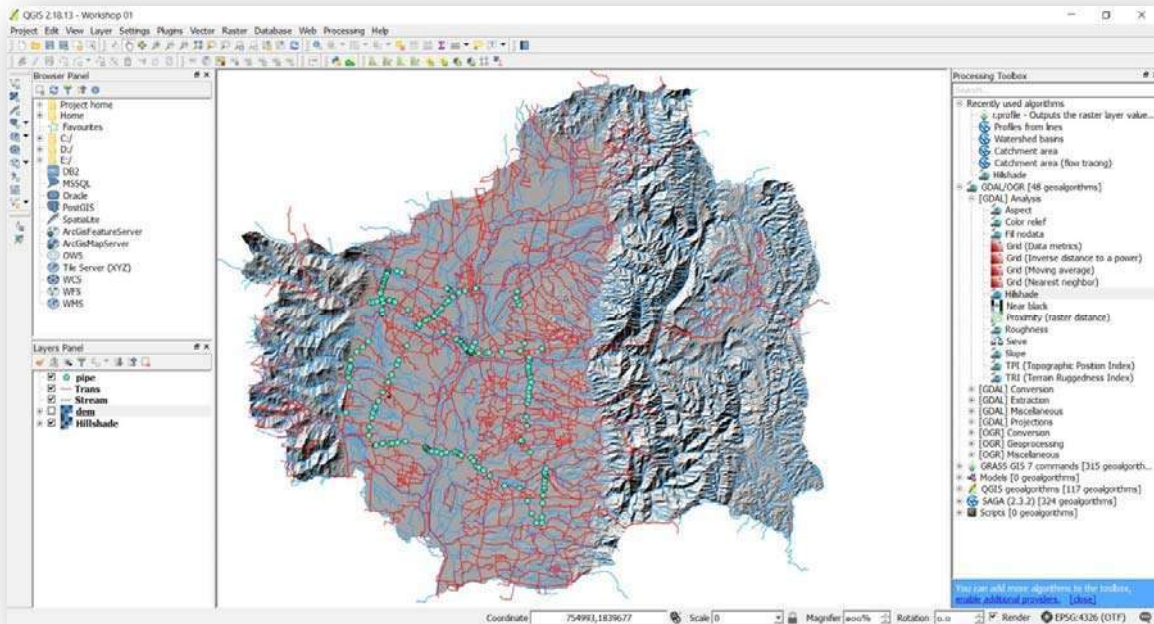
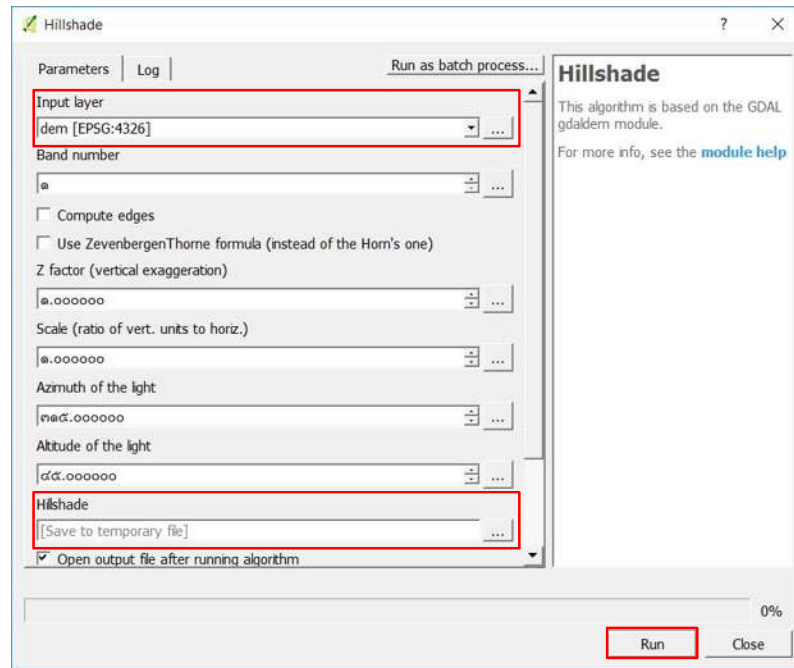
5. คลิกเลือก GDAL/OGR > [GDAL] Analysis > Hillshade



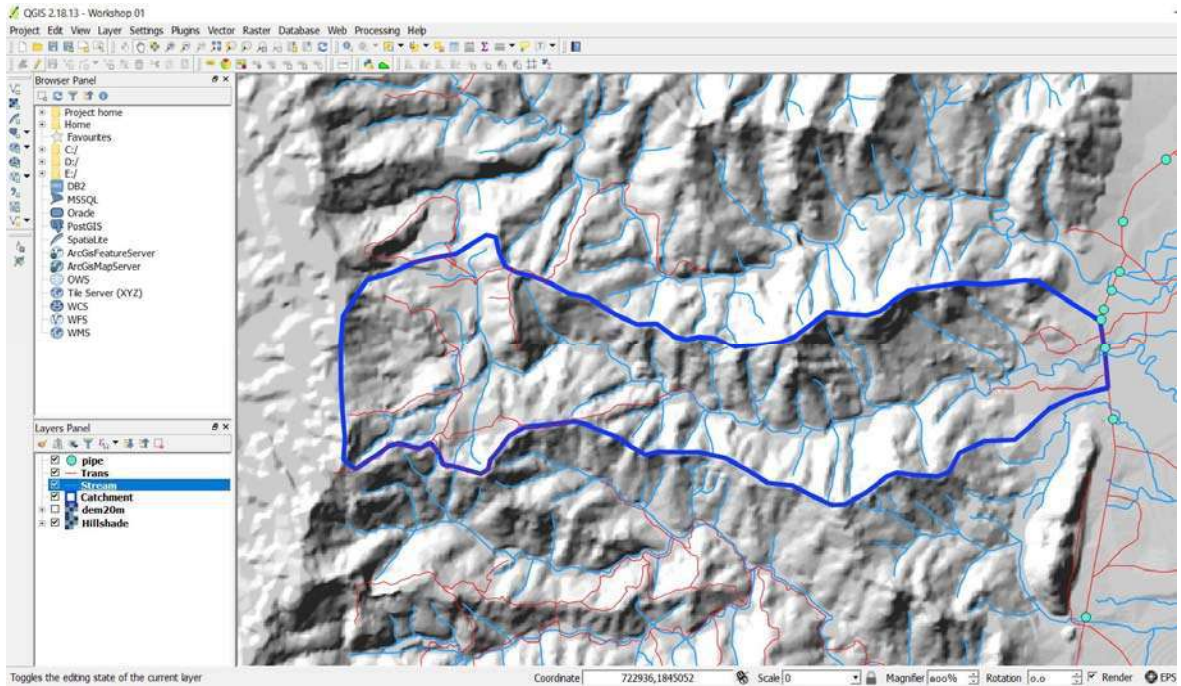
6. ใน Dialog box “Input layer” เลือกข้อมูล Dem

7. กำหนดชื่อ Layer ที่ต้องการเพื่อให้ไปแสดงผลที่ Table of contents ตรง “Hillshade”

8. กด Run

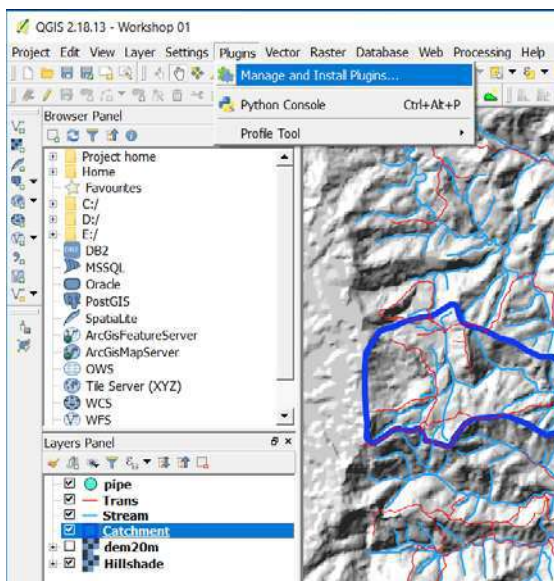



9. เลือกคำสั่ง New Vector Layer จาก Tool Bar หรือ Layer > New Vector Layer จาก Menu Bar กำหนดข้อมูลให้เป็นรูปปิด กำหนดค่าระบบพิกัดและสร้าง Field Name ให้ข้อมูล
10. Click OK เมื่อสร้างคุณสมบัติให้แก่ชั้นข้อมูลเป็นที่เรียบร้อย
11. เริ่มสร้างพื้นที่รับน้ำโดยใช้คำสั่ง Toggle Editing ที่ Tool Bar หรือ Right Click ที่ชั้นข้อมูล และเลือกคำสั่ง Toggle Editing และเลือก Add Feature โดยเริ่มสร้างจากตำแหน่ง outlet และไล่ไปตามสันปันน้ำที่เห็นจากชั้นข้อมูล Hillshade ที่สร้างไว้

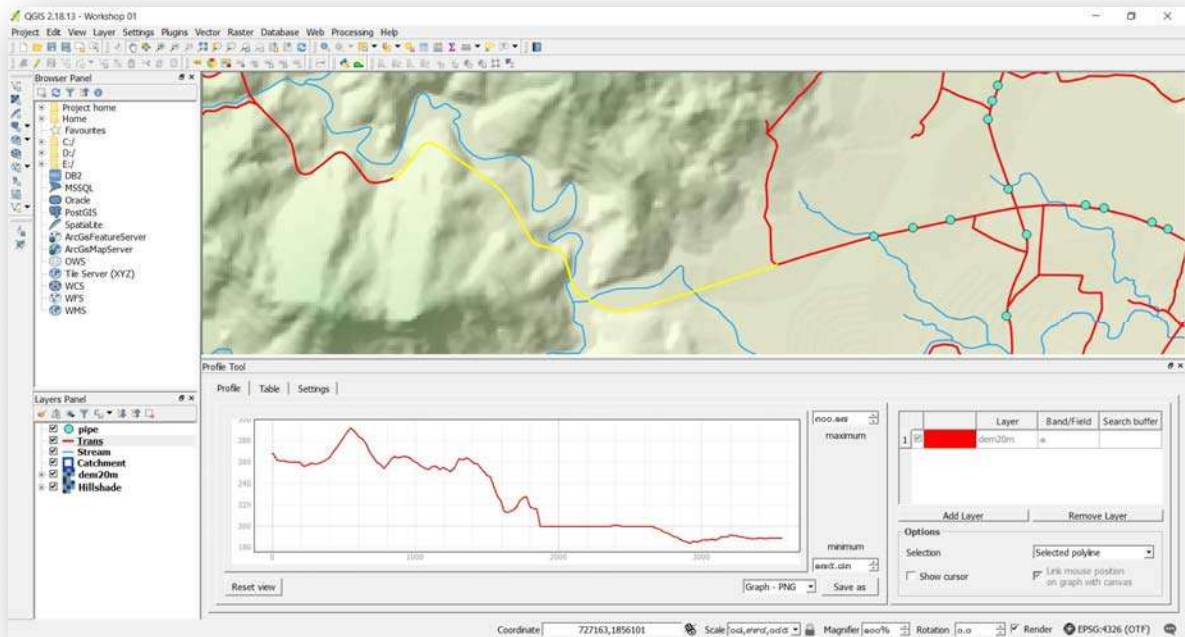


Profile Tool เครื่องมือที่นำมาใช้ในการดูความลาดชันของเส้นถนน

1. คลิกที่เมนู Plugins > Manage and Install Plugins.... เพื่อเปิดหน้าต่าง Plugin Manager
2. เริ่มติดตั้ง plugins โดยการเลือกฟังก์ชัน Profile Tool โดยพิมพ์ที่ช่องค้นหา จากนั้นทำการติดตั้ง ให้คลิกที่ปุ่ม Install plugin เพื่อติดตั้ง



3. ในการดูความลาดชันของเส้นถนน โดยการคลิกที่เครื่องมือ  จากนั้นลากตามเส้นถนน (Temporary polyline) หรือเลือกจากชั้นข้อมูล (Selected polyline) จะได้กราฟตามภาพ



เอกสารหมายเลข 4



โครงการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำของถนนเพื่อลดปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากถนนขวางทางน้ำ

สรุปผลการดำเนินงาน



วันจันทร์ที่ 25 กันยายน 2560
โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ กรุงเทพมหานคร




1

หัวข้อการนำเสนอ

การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

2



การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

3



การศึกษาพฤติกรรมกระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

- การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์
 - แบบจำลอง Mike Flood ของ Danish Hydraulics Institute ประเทศเดนมาร์ก
 - โปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ด้าน Hydrodynamics ของสภาพการไหลในลำน้ำสายหลัก และในพื้นที่น้ำท่วม
 - แบบจำลองทางศาสตร์ทั้งแบบ 1 มิติ (1D) และ 2 มิติ (2D) และแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า (NAM Model)

4

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

วิเคราะห์ระดับลุ่มน้ำ → พื้นที่ศึกษานำร่อง

5

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษา

- ข้อมูลด้านภูมิประเทศและหน้าตัดลำน้ำ ประกอบด้วย
 - แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:50,000 จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร
 - แผนที่มาตราส่วน 1:4000 ระยะห่างเส้นชั้น 2 เมตร
 - ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำตลอดแนวโครงข่ายลำน้ำที่จัดทำ โดยข้อมูลรูปตัดลำน้ำที่ได้จากการรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ
 - ข้อมูลแนวเส้นและระดับถนน รวมทั้งมิติของอาคารระบายน้ำ
- ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา ประกอบด้วย
 - ข้อมูลฝนรายวัน โดยกรมอุตุนิยมวิทยาและกรมชลประทาน ของสถานีวัดน้ำฝน ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาและบริเวณใกล้เคียง
 - ข้อมูลอุณหภูมิมเฉลี่ยรายเดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา
 - ข้อมูลระดับน้ำและอัตราการไหลเฉลี่ยรายวันที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำโครงการและบริเวณใกล้เคียง ของกรมชลประทานและกรมทรัพยากรน้ำ
 - ผลการวิเคราะห์ความถี่ฝนสูงสุดในช่วง 1-30 วัน โดยวิธีทางสถิติจากการศึกษาทางด้านอุทกวิทยา

6

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษา

- 3) ระบบโครงข่ายลำน้ำข้อมูลด้านภูมิประเทศและหน้าตัดลำน้ำ ประกอบด้วย
- 4) กริดน้ำท่วม (2D Overland Flow Grid)
 - กริดน้ำท่วมจะถูกจำลองด้วยการนำเข้าข้อมูลพื้นผิวระดับ (DEM, Digital Elevation Model) ที่ได้จัดทำ โดยการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายลำน้ำของ 1D Engines และ 2D Engines จะแบบ Lateral Links ซึ่งจะใช้ระดับคั่นกันน้ำ หรือตลิ่งซ้ายและขวาของลำน้ำมา กำหนดเป็นเงื่อนไขในการไหลล้นของน้ำเข้าสู่กริดน้ำท่วมดังแสดงขอบเขตพื้นที่เสนอจัดทำ แบบจำลองสภาพการไหลแบบสองมิติ
- 5) ขอบเขตเงื่อนไข (Boundary Condition)
 - ขอบเขตเงื่อนไขด้านเหนือน้ำ (Upstream Condition Boundary)
 - ขอบเขตเงื่อนไขด้านล่าง (Downstream Condition Boundary)
 - ปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Flow หรือ Side Flow)

7

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์



ขั้นตอนการใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

8

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง

ในการเปรียบเทียบแบบจำลองทางชลศาสตร์จะแบ่งการเปรียบเทียบออกเป็น 2 แบบจำลองย่อย คือ

- (1) MIKE11 NAM Model เป็นแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า
- (2) MIKE11 Hydrodynamic Model แบบจำลองการไหลในร่องน้ำเปิด

9

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

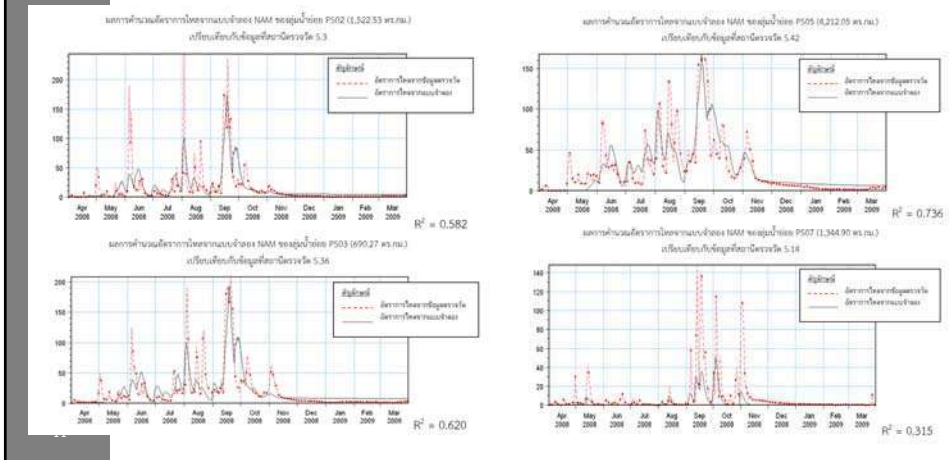
การเปรียบเทียบ MIKE11 NAM Model (แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่า)

รายการ	หน่วย	PS02	PS03	PS04	PS05	PS06	PS07
Surface- Root Zone							
Umax	มม.	18.20	15.90	20.00	17.50	17.50	10.90
Lmax	มม.	199.00	289.00	156.00	252.00	252.00	106.00
CQOF		0.33	0.22	0.66	0.16	0.16	0.98
CKIF	ซม.	920.30	664.60	610.00	326.70	326.70	950.00
CK1,2	ซม.	41.40	48.20	46.10	47.90	47.90	45.00
TOF	-	0.07	0.12	0.89	0.28	0.28	0.03
TIF	-	0.40	0.25	0.08	0.08	0.08	0.90
Ground Water							
TG	-	0.67	0.77	0.32	0.72	0.72	0.86
CKBF	ซม.	2,761.00	1,425.00	1,093.00	1,973.00	1,973.00	1,176.00
Initial Condition							
U/Umax	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
L/Lmax		0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
QOF	ลบ.ม./วินาที	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
QF	ลบ.ม./วินาที	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BF	ลบ.ม./วินาที	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
พื้นที่ลุ่มน้ำ	ตร.กม.	1,522.53	690.27	2,551.45	4,212.05	491.70	1,344.90

10

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

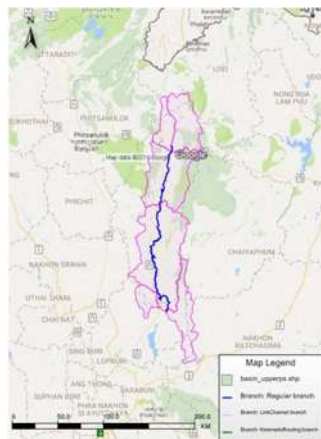
➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์



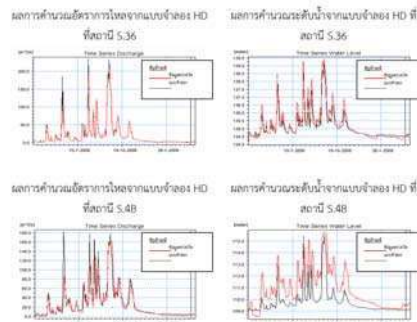
การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การเปรียบเทียบแบบจำลอง แบบจำลอง MIKE11 Hydrodynamic Model



โครงข่ายลำน้ำของแบบจำลอง MIKE HYDRO RIVER



- การเปรียบเทียบแบบจำลอง ทำโดยการเปรียบเทียบระดับน้ำและอัตราการไหลจากผลการคำนวณ กับข้อมูลตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำต่าง ๆ
- ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิง (Manning's)

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การเปรียบเทียบแบบจำลอง แบบจำลอง MIKE11 Hydrodynamic Model

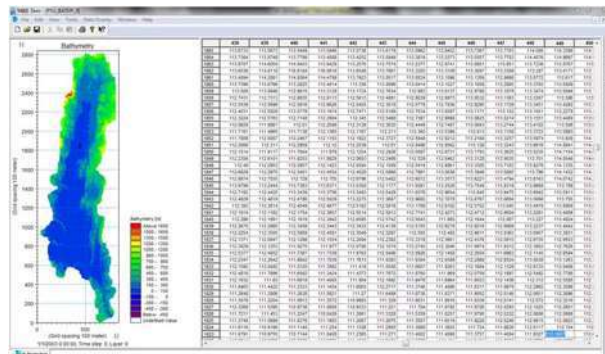
ชื่อแม่น้ำ	ช่วงลำน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิง (n)
แม่น้ำป่าสัก (ช่วงที่ 1)	3,295.64 – 136,000	0.042
แม่น้ำป่าสัก (ช่วงที่ 2)	0 – 106,310.25	0.033

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การจัดทำแผนที่น้ำท่วม

- การจัดทำแผนที่น้ำท่วมจะทำการพัฒนาแบบจำลองด้านน้ำท่วม MIKE FLOOD ซึ่งจะทำการคำนวณการเชื่อมโยงระหว่างการไหลแบบ 1 มิติ และ 2 มิติ และคำนวณลักษณะและทิศทางการไหลเพื่อแสดงผลบนแผนที่น้ำท่วมของพื้นที่โครงการ

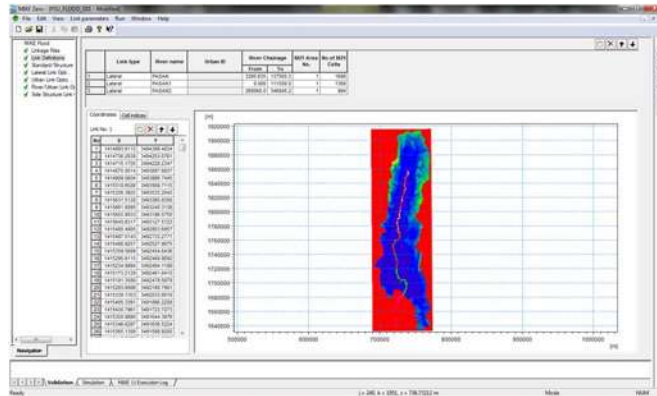


ข้อมูล Bathymetry ขนาด 100*100 ม.

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

- การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การจัดทำแผนที่น้ำท่วม

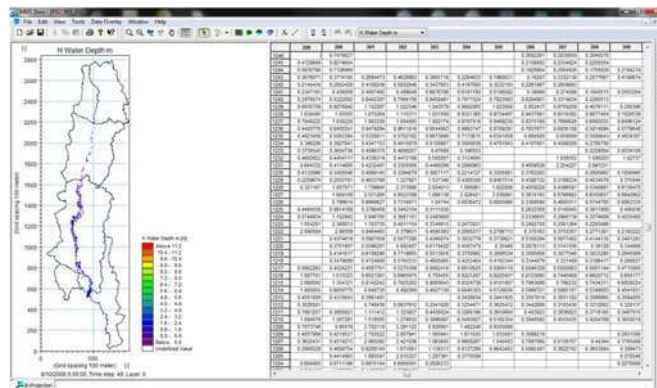


การนำเข้าข้อมูลในหน้า Definition ของ Mike Flood

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

- การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

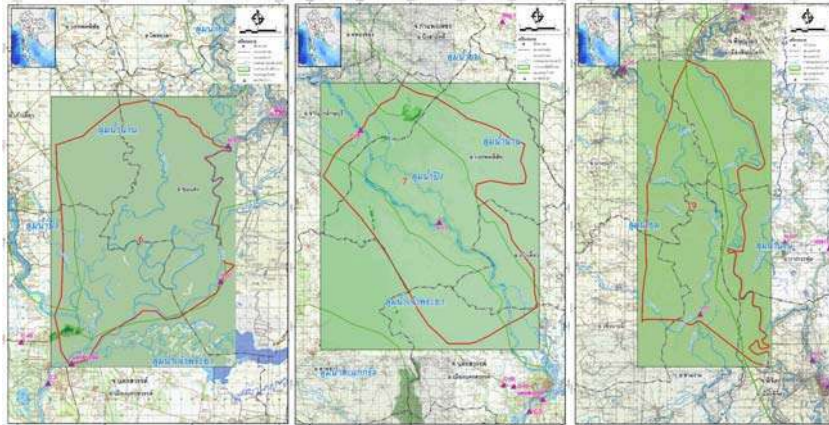
การจัดทำแผนที่น้ำท่วม



ตัวอย่างผลการคำนวณแผนที่ความลึกของน้ำท่วม

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

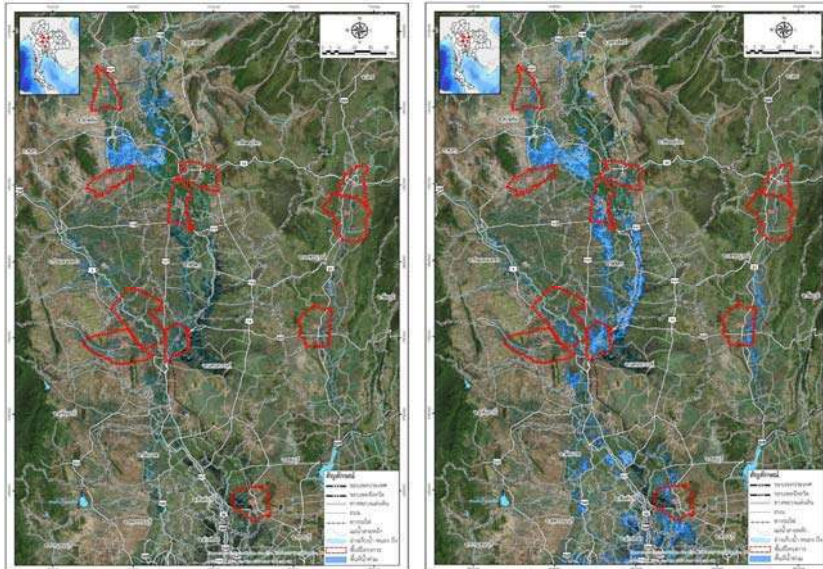
➤ การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์



การกำหนดขอบเขตของแบบจำลอง และองค์ประกอบของแบบจำลอง (River Networks) ของพื้นที่ศึกษานำร่องทั้ง 11 แห่ง

17

➤ การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 15/9/2012

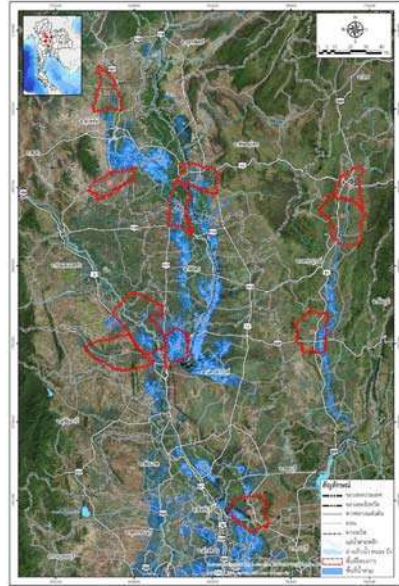
ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 22/9/2012

18

การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 30/9/2013



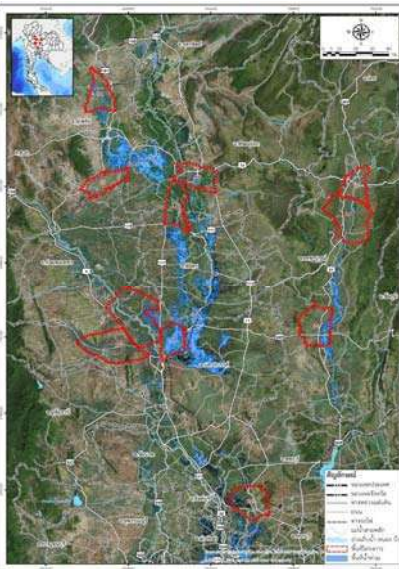
ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 7/10/2013

19

การรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม



ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 20/9/2016

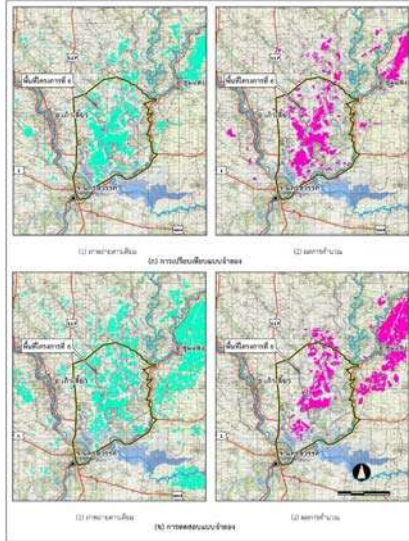


ภาพถ่ายดาวเทียม วันที่ 8/10/2016

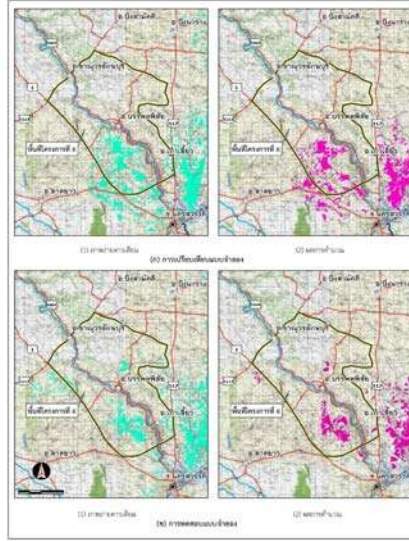
20

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6

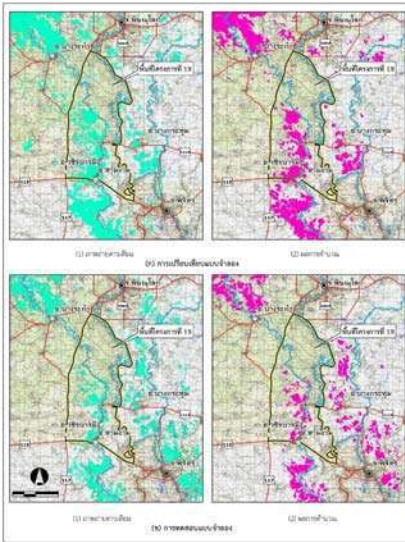


พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7

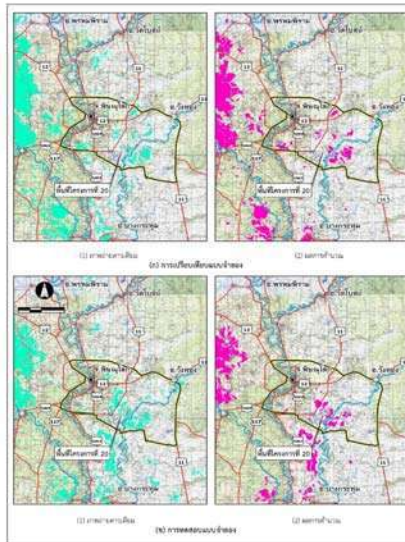


การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 19

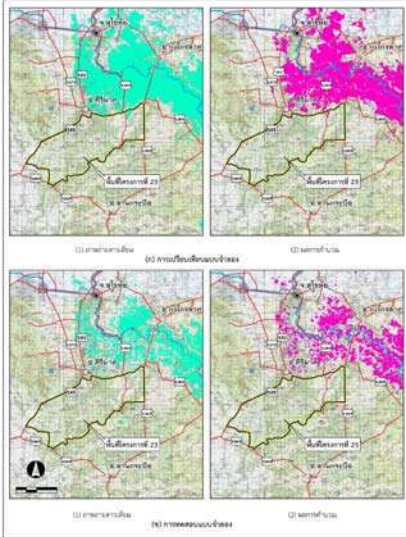


พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 20

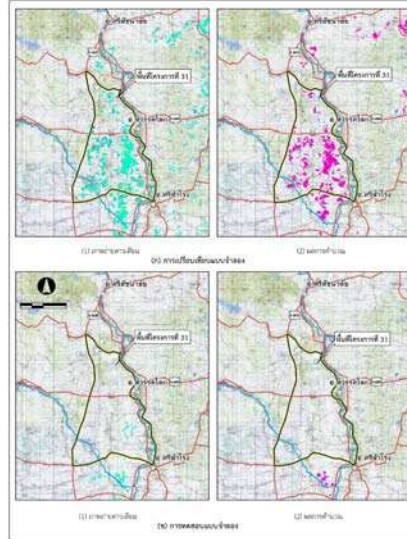


การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 23

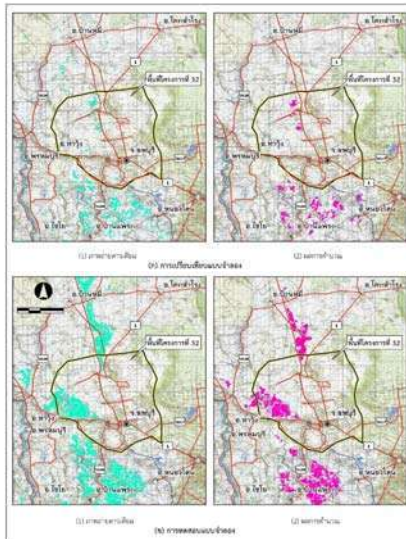


พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 31

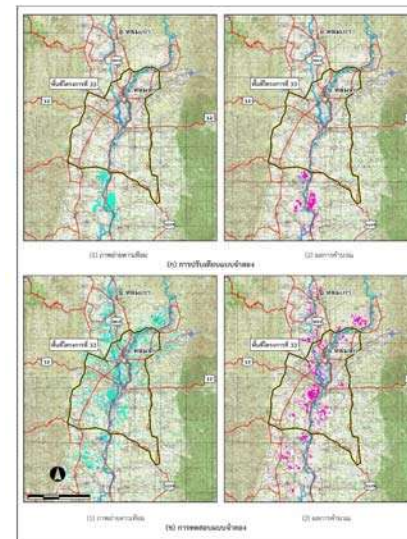


การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 32



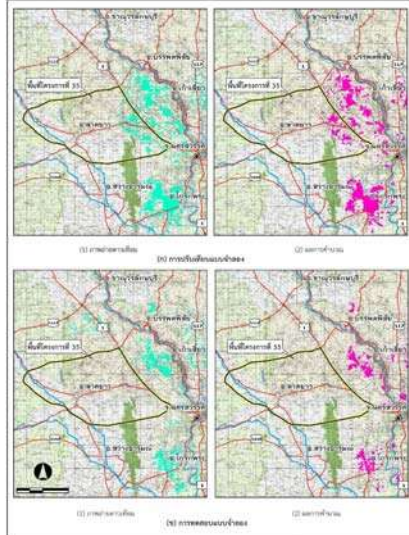
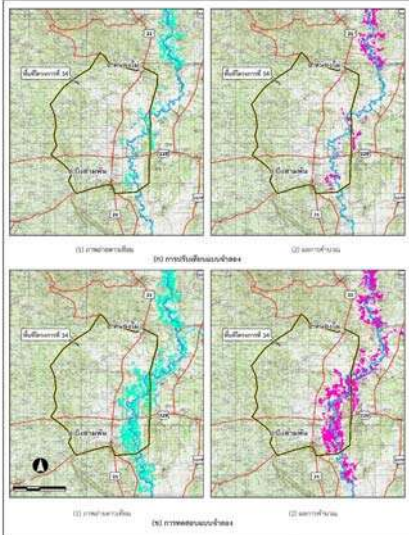
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 33



การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

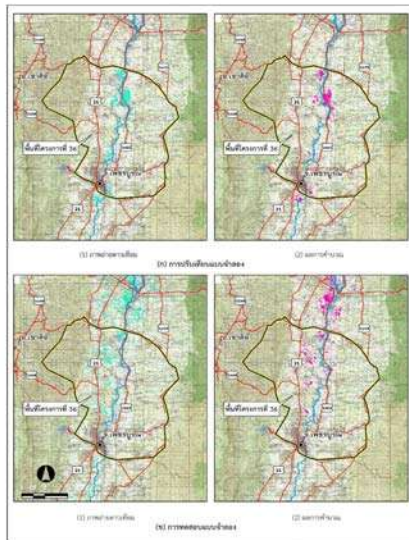
พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 34

พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 35



การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 36



การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำท่วมซ้ำซาก

ปัจจัยทางด้าน
กายภาพ

ขนาดอาคาร
ระบายน้ำ

➔

อัตราการไหลสูงสุด

27

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำท่วมซ้ำซาก

อัตราการไหลสูงสุด

การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 6

การแบ่งพื้นที่อาคารระบายน้ำของ พื้นที่ศึกษานำร่องที่ 7

28

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำท่วมซ้ำซาก

U _{max}	Maximum water content in surface storage
L _{max}	Maximum water content in root zone storage
CQOF	Overland flow runoff coefficient
CK _{IF}	Time Constant for interflow
CK _{1,2}	Time Constant for routing overland flow
TOF	Root zone threshold value for overland flow
TIF	Root zone threshold value for interflow
TG	Root zone threshold value for groundwater recharge
CK _{BF}	Time Constant for Routing Base Flow
QOF	Overland flow
QIF	Interflow
BF	Base flow

29

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำท่วมซ้ำซาก

CQOF

➔

Land Use and Slope

CK_{1,CK2}

➔

Soil Type

L_{max}

➔

Soil Moisture

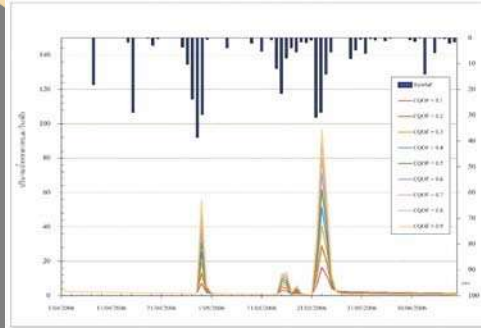
➔

Rainfall and Acc. Rainfall

30

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

วิเคราะห์ความอ่อนไหว



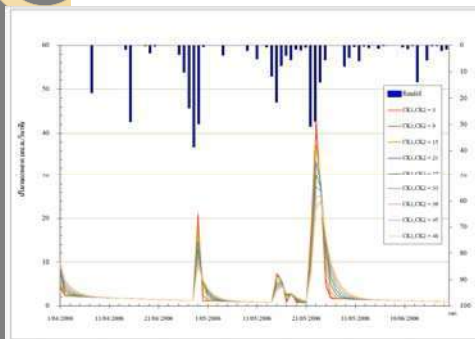
CQOF	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
0.1	100.00	16.35	-
0.2	50.00	28.94	77.00
0.3	33.33	40.61	40.32
0.4	25.00	51.47	26.74
0.5	20.00	61.61	19.70
0.6	16.67	71.12	15.44
0.7	14.29	80.05	12.56
0.8	12.50	88.48	10.53
0.9	100.00	96.47	9.03

CQOF

31

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

วิเคราะห์ความอ่อนไหว



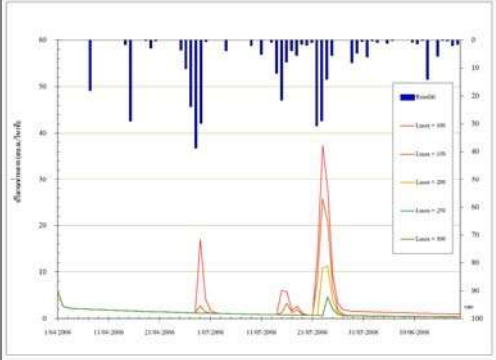
CK1,CK2	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
3		42.95	
9	200.00	41.18	-4.12
15	66.67	37.35	-9.30
21	40.00	33.49	-10.34
27	28.57	30.14	-10.01
33	22.22	27.33	-9.29
39	18.18	25.11	-8.14
45	15.38	23.97	-4.56
48	6.67	23.41	-2.33

CK1, CK2

32

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง

➤ วิเคราะห์ความอ่อนไหว



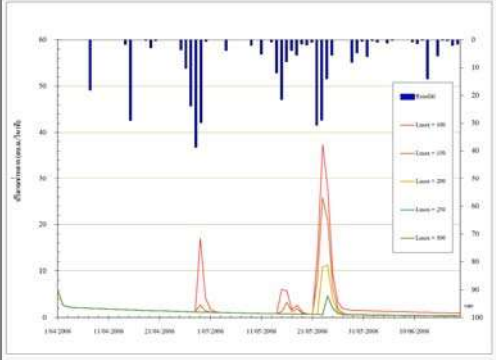
Lmax	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
100		37.35	
150	50.00	25.82	-30.88
200	33.33	11.27	-56.36
250	25.00	6.11	-45.75
300	20.00	6.11	0.00

Lmax

33

การศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง


➤ วิเคราะห์ความอ่อนไหว



Lmax	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
100		37.35	
150	50.00	25.82	-30.88
200	33.33	11.27	-56.36
250	25.00	6.11	-45.75
300	20.00	6.11	0.00

Lmax

34



การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการใช้สูงสุด

35

การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการใช้สูงสุด

- การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis)
- เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป กับตัวแปรตาม 1 ตัว

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

36

การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

ตัวแปรอิสระ

1. ความลาดชัน (Slope)
2. วันที่ตกในวันที่พิจารณา (RainfallToday)
3. ฝนสะสมก่อนหน้า 10 วัน (RainfallACC10day)
4. ขนาดพื้นที่รับน้ำ (CatchmentArea)
5. พื้นที่เกษตร
6. พื้นที่ป่า
7. พื้นที่ลุ่ม
8. พื้นที่อยู่อาศัย
9. แหล่งน้ำ
10. พื้นที่ชนิดดินลุ่ม
11. พื้นที่ชนิดดินดอน



ตัวแปรตาม

อัตราการไหลสูงสุด (Floodcms)

37

การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

		Correlation											
		Floodcms	Slope	RainfallToday	RainfallACC10day	CatchmentArea	พื้นที่เกษตร	พื้นที่ป่า	พื้นที่ลุ่ม	พื้นที่อยู่อาศัย	แหล่งน้ำ	ดินลุ่ม	ดินดอน
Floodcms	Pearson Correlation	1	-.030	.312	-.012	.272	.242	.222	.242	.235	.222	.282	.264
	Sig. (2-tailed)		.277	.000	.634	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
	N	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302	1302

- จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ 9 ตัว พบว่า RainfallToday CatchmentArea พื้นที่เกษตร พื้นที่ป่า พื้นที่ลุ่ม พื้นที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำดินลุ่ม ดินดอน มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ floodcms ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และพบว่า slope และ RainfallACC10day ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ Floodcms
- เนื่องจาก slope ไม่มีความสัมพันธ์กับ floodcms ในการสร้างสมการถดถอยเพื่อพยากรณ์ floodcms และ หาขนาดอิทธิพลของตัวแปรอิสระต่อตัวแปรตาม จึงตัดตัวแปร slope และ RainfallACC10day ออก

38

การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	10.327	503		20.533	.000
	RainfallToday	.168	.027	.078	6.278	.000
	CatchmentArea	.355	.027	2.449	13.254	.000
	คันน้ำ	.205	.031	.238	6.617	.000
	พื้นที่อยู่อาศัย	.358	.130	.112	2.755	.006
	แหล่งน้ำ	-2.943	.759	-.681	-11.348	.000
	ดินลุ่ม	-.106	.033	-.357	-3.233	.001
	ดินดอน	-.267	.031	-.024	-8.510	.000

a. Dependent Variable: Floodcrms

- จากการทดสอบตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม พบว่า มีตัวแปรอิสระจำนวน 7 ตัว ได้แก่ RainfallToday CatchmentArea พื้นที่ป่า พื้นที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ ดินลุ่ม และดินดอน ที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 สร้างตัวแบบหรือสมการการถดถอยได้ดังนี้
- การตรวจสอบค่า Variance Inflation Factor (VIF ซึ่งหากค่านี้มีค่าสูง หมายถึงว่าอาจเกิดสภาวะปัญหา Multicollinearity หรือสภาวะที่ เกิดสภาพสหสัมพันธ์ (Correlation) กันเองระหว่างตัวแปรอิสระในระดับค่อนข้างสูง ซึ่งส่งผลให้ตัวสมการขาดความน่าเชื่อถือ
- ตัวแปรพื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) พื้นที่กลุ่มดินพื้นที่ลุ่ม และพื้นที่กลุ่มดินที่ดอน มีค่า VIF สูง จึงจะทำการทดลองตัวตัวแปรเหล่านี้ออกแล้วจึงพิจารณารูปแบบของสมการความสัมพันธ์ใหม่อีกครั้ง

39

การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Correlations			Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
	(Constant)	11.405	.574		19.882	.000				.943	1.060
1	RainfallToday	.111	.030	.051	3.686	.000	.117	.102	.050	.943	1.060
	คันน้ำ	.319	.015	.371	21.049	.000	.732	.505	.285	.591	1.691
	พื้นที่อยู่อาศัย	1.634	.108	.509	15.063	.000	.825	.386	.204	.161	6.228
	แหล่งน้ำ	.443	.154	.088	2.880	.004	.733	.080	.039	.199	5.028

a. Dependent Variable: Floodcrms

- จากการทดสอบตัวแปรอิสระที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตามครั้งที่ 2 พบว่า มีตัวแปรอิสระจำนวน 4 ตัว ได้แก่ RainfallToday พื้นที่ป่า พื้นที่อยู่อาศัย แหล่งน้ำ ที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 สร้างตัวแบบหรือสมการการถดถอยได้ดังนี้

40

$$Q_{\text{peak}} = 11.405 + 0.111\text{Rain} + 0.319\text{For} + 1.634\text{Res} + 0.433\text{Wat}$$

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

Rain = ปริมาณฝนที่ตก (มม.)

For = พื้นที่ป่าไม้ (ตร.กม.)

Res = พื้นที่อยู่อาศัย (ตร.กม.)

Wat = พื้นที่แหล่งน้ำ (ตร.กม.)

$$r^2 = 0.76$$





ภาคผนวก ค.
รายละเอียดการปรับปรุงอาคารระบายน้ำ

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
1	6	225	8+700	626952	1739104	สะพาน	5	10	5	12
2	6	225	10+686	628626	1739594	Box Culvert	2	2.1x2.1	2	2.4x2.1
3	6	225	13+362	630922	1739148	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
4	6	225	15+416	632270	1740539	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
5	6	225	15+850	632703	1740636	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
6	6	225	16+264	633101	1740724	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
7	6	225	19+700	634574	1742923	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
8	6	225	19+900	634619	1743104	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
9	6	225	19+968	634640	1743172	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
10	6	225	20+536	634917	1743663	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
11	6	225	21+070	635043	1744153	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
12	6	225	21+261	635048	1744356	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
13	6	225	21+333	635034	1744426	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
14	6	225	22+135	634865	1745209	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
15	6	225	22+433	634809	1745501	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
16	6	225	22+576	634784	1745637	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
17	6	225	23+454	634876	1746508	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
18	6	225	23+627	634898	1746684	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
19	6	225	23+777	634915	1746828	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
20	6	225	24+600	634692	1747650	สะพาน	3	8	3	10
21	6	225	25+005	634555	1747954	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.00
22	6	225	25+619	634433	1748552	ท่อลอด	1	P0.80	1	P0.80
23	6	225	26+217	634506	1749144	ท่อลอด	1	P0.80	1	P0.80
24	6	225	26+724	634721	1749597	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.00
25	6	225	27+300	634853	1749999	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
26	6	225	27+780	634671	1750601	ท่อลอด	1	P0.80	1	P0.80
27	6	225	28+081	634553	1750878	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
28	6	225	28+767	634745	1751420	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
29	6	225	29+498	634973	1752188	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
30	6	225	29+782	634788	1752348	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
31	6	225	30+040	634547	1752408	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
32	6	225	30+690	634267	1752949	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
33	6	225	31+352	634441	1753563	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.00
34	6	225	31+392	634458	1753595	Box Culvert	3	2.1x2.1	3	2.4x2.1
35	6	225	2+550	635435	1754020	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
36	6	3475	0+100	635184	1744101	สะพาน	3	10	3	12
37	6	3475	0+436	635479	1744020	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
38	6	3475	0+480	635532	1743997	Box Culvert	2	2.1x2.1	2	2.4x2.1
39	6	3475	0+690	635694	1743956	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
40	6	3475	0+880	635921	1743918	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.00

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
41	6	3475	0+900	635949	1743924	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
42	6	3475	1+098	636121	1743908	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
43	6	3475	1+369	636393	1743873	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
44	6	117	13+100	620117	1748711	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.00
45	6	117	14+700	619881	1750369	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.50
46	6	117	16+900	619636	1752474	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
47	6	117	18+100	619592	1753724	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
48	6	117	18+400	619584	1753974	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
49	6	117	18+500	619581	1754093	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.20
50	6	117	18+600	619579	1754148	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
51	6	117	18+700	619572	1754334	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
52	6	117	18+950	619564	1754571	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.20
53	7	1	372+920	597400	1755208	ท่อลอด	2	P1.00	2	P0.80
54	7	1	373+500	597048	1755798	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.50
55	7	1	374+350	596666	1756479	สะพาน	5	8,10	5	10
56	7	1073	0+500	597254	1756458	ท่อลอด	2	P0.60	2	P1.20
57	7	1073	0+680	597427	1756618	ท่อลอด	2	P0.60	2	P1.20
58	7	1073	1+7410	598164	1757344	สะพาน	8	8	8	10
59	7	1073	2+300	598346	1757785	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.20
60	7	1073	2+500	598421	1758005	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
61	7	1073	2+700	598478	1758161	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
62	7	1073	3+400	598911	1758826	Box Culvert	1	1.5x1.2	1	1.8x1.2
63	7	1073	3+420	598926	1758848	Box Culvert	1	1.5x1.2	1	1.8x1.5
64	7	1073	4+010	599192	1759311	Box Culvert	2	1.8x1.5	2	2.1x2.1
65	7	1073	4+400	599403	1759644	ท่อลอด	2	P0.60	2	P1.20
66	7	1073	5+600	600007	1760584	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.20
67	7	1073	5+800	600139	1760789	Box Culvert	2	2.1x2.1	2	2.4x2.1
68	7	1073	5+960	600193	1760873	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
69	7	1073	6+100	600314	1761050	ท่อลอด	3	P0.60	3	P1.20
70	7	1073	6+400	600478	1761246	Box Culvert	2	1.5x1.2	2	1.8x1.2
71	7	1073	6+600	600619	1761382	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
72	7	1073	6+800	600747	1761525	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
73	7	1073	7+200	601072	1761889	ท่อลอด	2	P0.60	2	P1.20
74	7	1073	7+985	601732	1761789	Box Culvert	3	1.5x1.2	3	1.8x1.2
75	7	1073	9+795	603321	1761044	สะพาน	3	10	3	12
76	7	1073	11+500	604740	1761758	ท่อลอด	2	P0.60	2	P1.20
77	7	1073	14+900	604865	1763063	Box Culvert	2	2.1x2.1	2	2.4x2.1
78	7	1073	17+200	605260	1764191	สะพาน	5	10	5	12
79	7	1073	17+700	605608	1764487	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
80	7	1073	18+000	606963	1765364	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
81	7	1073	18+100	607274	1765662	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
82	7	1073	18+400	607513	1765823	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
83	7	1073	18+500	607963	1766025	สะพาน	3	6	3	8
84	7	1073	18+700	608042	1766155	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
85	7	1073	18+900	608012	1766384	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
86	7	1073	19+200	607977	1766664	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
87	7	1073	19+860	608034	1767379	Box Culvert	2	1.5x1.2	2	1.8x1.2
88	7	1073	19+900	608038	1767419	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
89	7	1073	20+300	608006	1767746	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
90	7	1073	21+100	608343	1768508	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
91	7	1073	21+300	608422	1768672	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
92	7	1073	22+300	608496	1770681	สะพาน	1	10	1	12
93	7	1073	23+600	608516	1770933	ท่อลอด	2	P0.60	2	P1.20
94	7	1073	24+100	608557	1771467	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
95	7	1073	24+500	608571	1771862	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
96	7	1073	25+018	608574	1772406	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
97	7	1073	25+400	608523	1772703	Box Culvert	4	1.2x1.2	4	1.8x1.5
98	7	1073	25+800	608435	1773181	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
99	7	1073	26+100	608404	1773490	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
100	7	1073	26+700	608572	1773978	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.20
101	7	1073	27+030	608850	1774142	สะพาน	3	15	3	17
102	7	1073	27+400	609164	1774349	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
103	7	1073	28+210	609731	1774812	ท่อลอด	2	P1.20	2	P1.20
104	7	1073	28+500	609887	1775107	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
105	7	1073	28+700	610038	1775264	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.20
106	7	1073	29+400	610486	1775732	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
107	7	1073	29+985	610913	1776205	ท่อลอด	1	P1.20	1	P1.20
108	7	1084	25+300	607681	1760824	Box Culvert	3	3x3	3	3.6x3.3
109	7	1084	25+200	607759	1760737	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
110	7	1084	25+020	607827	1760623	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
111	7	1084	24+090	608077	1759696	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
112	7	1084	23+950	608094	1759607	Box Culvert	4	2.4x2.4	4	2.7x2.4
113	7	1084	23+250	608242	1758839	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
114	7	1084	23+200	608259	1758769	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
115	7	1084	23+025	608287	1758686	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
116	7	1084	22+500	608595	1758257	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
117	7	1084	22+050	609020	1758121	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
118	7	1084	20+900	610193	1758003	Box Culvert	4	2.4x2.4	4	2.7x2.4
119	7	1084	20+500	610602	1757912	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
120	7	1084	20+100	610951	1757829	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
121	7	1084	19+750	611309	1757776	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
122	7	1084	19+744	611320	1757772	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
123	7	1084	17+900	612921	1756886	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
124	7	1084	17+400	613085	1756512	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
125	7	1084	17+390	613090	1756502	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
126	7	1084	16+900	613420	1756077	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
127	7	1084	11+700	616193	1752259	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
128	7	1182	13+700	615334	1747135	ท่อลอด	2	P0.60	2	P1.20
129	7	1182	13+500	615424	1747766	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
130	7	1182	15+200	614528	1750404	สะพาน	3	8	3	10
131	7	1182	15+700	614314	1750817	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
132	7	1182	16+520	613838	1751522	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.20
133	7	1182	18+450	612354	1752506	สะพาน	3	10	3	12
134	7	1182	18+990	612250	1753092	ท่อลอด	1	P0.60	1	P1.20
135	7	1182	19+100	612262	1753234	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
136	7	1182	19+940	612493	1753978	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
137	7	1182	21+700	612330	1755681	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
138	7	1182	25+100	609441	1757119	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.00
139	7	1182	25+700	608859	1757083	สะพาน	3	8	3	10
140	7	1182	30+020	606995	1760476	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
141	7	1182	31+060	606049	1760765	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
142	19	115	69+200	623493	1825766	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
143	19	115	69+575	623926	1825752	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
144	19	115	69+850	624218	1825742	สะพาน	5	9	5	12
145	19	115	70+447	624802	1825724	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
146	19	115	70+775	625136	1825712	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
147	19	115	71+200	625556	1825698	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
148	19	115	72.+337	626749	1825605	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
149	19	115	72+950	627257	1825320	สะพาน	5	9	5	12
150	19	115	75+330	629365	1825216	สะพาน	3	8,10	3	12
151	19	115	75+925	629839	1824870	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
152	19	115	75.975	629883	1824837	ท่อลอด	2	P1.50	2	P2.00
153	19	115	76+140	630020	1824738	สะพาน	3	8,10	3	12
154	19	115	76+900	630630	1824293	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
155	19	115	77+395	630994	1824028	ท่อลอด	2	P1.50	2	P2.00
156	19	115	77+790	631317	1823793	ท่อลอด	2	P1.50	2	P2.00
157	19	115	78+000	631488	1823668	Box Culvert	3	3.3x3	3	3.6x3.3
158	19	115	78+075	631580	1823602	ท่อลอด	2	P1.50	2	P2.00
159	19	115	78+700	632086	1823233	สะพาน	6	8,10	6	12
160	19	115	79+390	632641	1822829	สะพาน	3	6,8	3	10

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
161	19	115	79+910	633057	1822527	ท่อลอด	3	P1.50	3	P2.00
162	19	115	80+200	633308	1822341	สะพาน	5	8,10	5	12
163	19	115	80+525	633559	1822155	สะพาน	3	9	3	12
164	19	115	80+820	633770	1821969	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.50
165	19	115	81+100	634040	1821799	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.50
166	19	115	81+270	634170	1821703	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.50
167	19	115	81+600	634444	1821505	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.50
168	19	115	82+725	635379	1820949	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
169	19	115	83+395	636017	1820774	Box Culvert	1	2.4x2.4	1	2.7x2.4
170	19	115	84+254	636833	1820491	สะพาน	3	9,10	3	12
171	19	115	84+650	637201	1820326	สะพาน	3	9,10	3	12
172	19	117	102+500	622635	1837580	สะพาน	4	10	4	12
173	19	117	103+200	622640	1838230	Box Culvert	1	1.5x1.2	1	21
174	19	117	104+500	622586	1839579	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
175	19	117	104+850	622578	1839854	Box Culvert	1	1.5x1.2	1	1.8x1.2
176	19	117	105+435	622606	1840469	สะพาน	3	10	3	12
177	19	117	106+200	622772	1841209	Box Culvert	3	1.5x1.2	3	1.8x1.2
178	19	117	106+550	622891	1841528	สะพาน	6	10	6	12
179	19	117	108+210	623562	1843069	Box Culvert	1	2.1x2.1	1	2.4x2.1
180	19	117	108+915	623701	1843729	Box Culvert	1	2.1x2.1	1	2.4x2.1
181	19	117	109+470	623784	1844222	Box Culvert	1	2.1x2.1	1	2.4x2.1
182	19	117	113+410	625077	1847993	Box Culvert	2	1.5x1.2	2	1.8x1.2
183	19	117	113+580	625140	1848135	Box Culvert	2	3.6x3.3	2	3.6x3.6
184	19	117	114+060	625331	1848587	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
185	19	117	114+250	625393	1848760	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.00
186	19	117	114+550	625484	1849060	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
187	19	117	114+670	625506	1849151	Box Culvert	1	1.5x1.2	1	1.8x1.2
188	19	117	114+750	625527	1849237	Box Culvert	1	1.5x1.2	1	1.8x1.2
189	19	117	115+130	625589	1849554	สะพาน	5	8	5	10
190	19	117	115+425	625635	1849953	สะพาน	5	10	5	12
191	19	117	115+925	625663	1850407	Box Culvert	2	1.5x1.2	2	1.8x1.2
192	19	117	116+925	625856	1851274	Box Culvert	1	2.1x2.1	1	2.4x2.1
193	19	117	117+250	626055	1851700	สะพาน	10	8	10	10
194	19	117	119+333	626999	1853527	Box Culvert	1	1.5x1.2	1	1.8x1.2
195	19	126	48+500	627712	1854160	สะพาน	5	9	5	6
196	19	126	48+800	627980	1854067	สะพาน	2	8	2	10
197	20	11	207+715	653395	1857336	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
198	20	11	207+920	653448	1857526	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
199	20	11	208+010	653474	1857621	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
200	20	11	208+415	653580	1858005	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
201	20	11	208+720	653659	1858306	สะพาน	3	6,7	3	8
202	20	11	208+950	653719	1858529	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
203	20	11	209+225	653684	1858806	สะพาน	3	10	3	12
204	20	11	209+585	653581	1859138	Box Culvert	2	2.7x2.7	2	3x2.7
205	20	11	209+650	653559	1859212	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
206	20	11	210+025	653444	1859584	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
207	20	11	210+375	653328	1859894	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
208	20	11	210+415	653286	1859925	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
209	20	11	227+025	643071	1862803	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
210	20	11	225+100	641795	1860187	สะพาน	3	8,10	3	12
211	20	12	236+300	639095	1859709	สะพาน	5	10	5	12
212	20	12	237+600	640054	1859773	สะพาน	3	6	3	8
213	20	12	238+000	640485	1859809	สะพาน	3	6	3	8
214	20	12	239+000	641589	1859860	สะพาน	3	8	3	10
215	20	12	239+450	642006	1859896	สะพาน	3	5,6	3	8
216	20	12	239+700	642336	1859918	ท่อลอด	2	P.100	2	P1.20
217	20	12	240+350	643045	1860069	สะพาน	3	8	3	10
218	20	12	241+275	643940	1860441	สะพาน	3	8,10	3	12
219	20	12	242+550	644936	1861191	สะพาน	3	6	3	8
220	20	12	19+050	652210	1860757	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
221	20	12	19+400	651898	1860571	Box Culvert	2	1.5x1.2	2	1.8x1.2
222	20	126	38+649	637531	1852950	สะพาน	4	10	4	12
223	20	126	38+574	637596	1852947	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
224	20	126	38+156	638012	1852923	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
225	20	126	37+709	638461	1852898	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
226	20	126	37+430	638747	1852883	สะพาน	6	8	6	10
227	20	126	37+150	639013	1852874	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
228	20	126	37+050	639106	1852897	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
229	20	126	36+900	639275	1853026	สะพาน	5	10	5	12
230	20	126	36+424	639461	1853372	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
231	20	126	36+395	639476	1853397	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
232	20	126	36+263	639540	1853514	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
233	20	126	36+050	639648	1853696	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
234	20	126	35+818	639764	1853884	สะพาน	3	10	3	12
235	20	126	35+500	639855	1854035	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
236	20	126	35+400	639988	1854250	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
237	20	126	35+185	640101	1854433	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
238	20	126	35+130	640129	1854480	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
239	20	126	35+100	640146	1854506	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
240	20	126	34+968	640214	1854616	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
241	20	126	34+825	640289	1854738	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
242	20	126	34+441	640486	1855064	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
243	20	126	34+218	640608	1855256	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
244	20	126	34+098	640671	1855358	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
245	20	126	33+968	640741	1855472	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
246	20	126	33+798	640839	1855629	สะพาน	5	10	5	12
247	20	126	33+659	640902	1855732	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
248	20	126	33+574	640947	1855804	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
249	20	126	33+400	641039	1855954	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
250	20	126	33+186	641150	1856135	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
251	20	126	32+990	641254	1856303	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
252	20	126	32+846	641330	1856424	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
253	20	126	32+623	641447	1856613	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
254	20	126	32+348	641591	1856847	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
255	20	126	32+248	641644	1856932	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
256	20	126	32+050	641741	1857089	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
257	20	126	31+953	641804	1857191	สะพาน	1	10	1	12
258	20	126	31+737	641899	1857384	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
259	20	126	31+602	641917	1857493	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
260	20	126	31+418	641912	1857676	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
261	20	126	31+065	641894	1858030	สะพาน	4	10	4	12
262	20	126	30+773	641878	1858318	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
263	20	126	30+594	641870	1858499	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.7x2.4
264	20	126	30+419	641861	1858674	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
265	20	126	30+348	641857	1858747	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
266	20	126	30+293	641855	1858800	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
267	20	126	30+049	641843	1859043	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.7x2.4
268	20	126	29+920	641832	1859174	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
269	20	126	29+593	641816	1859498	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.7x2.4
270	20	126	29+468	641812	1859617	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
271	20	126	23+300	643999	1862812	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
272	20	126	23+900	644401	1862395	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
273	20	126	34+325	644716	1862066	สะพาน	1	10	1	12
274	20	126	35+100	645354	1861578	Box Culvert	1	1.5x0.9	1	1.8x0.9
275	20	126	35+700	645880	1861782	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
276	20	126	36+900	647043	1862300	สะพาน	3	8,10	3	12
277	20	126	37+450	647498	1862374	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
278	20	126	38+100	648258	1862314	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
279	20	126	39+800	649842	1861511	สะพาน	5	8,10	5	12
280	20	126	40+300	650330	1861225	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
281	20	126	20+525	641244	1863807	สะพาน	4	10	4	12
282	20	126	20+200	640958	1863903	Box Culvert	3	1.5x1.2	3	1.8x1.2
283	20	126	19+050	639838	1864280	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
284	20	126	18+390	639215	1864491	สะพาน	1	10	1	12
285	20	126	18+200	639028	1864554	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
286	20	126	16+625	637526	1864952	สะพาน	4	10	4	12
287	20	126	16+230	637142	1864957	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
288	20	126	16+075	636984	1864959	สะพาน	4	10	4	12
289	20	126	14+610	635559	1864976	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
290	23	101	50+150	578539	1855196	สะพาน	3	5x7x5	3	8
291	23	101	49+250	577753	1854738	Box Culvert	2	3x3	2	3.6x3.3
292	23	101	45+000	574238	1852434	Box Culvert	3	2.1x2.1	3	2.4x2.1
293	23	101	43+150	573255	1850882	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
294	23	101	42+280	572763	1850165	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
295	23	101	42+130	572647	1850062	ท่อลอด	3	P0.60	3	P0.80
296	23	101	41+830	572400	1849894	ท่อลอด	2	P0.60	2	P0.80
297	23	101	41-570	572185	1849748	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
298	23	101	41+270	571936	1849578	สะพาน	3	10	3	12
299	23	101	40+270	571368	1848738	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.75x3
300	23	101	39+220	570837	1847813	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
301	23	101	38+790	570619	1847442	ท่อลอด	2	P0.60	2	P0.80
302	23	101	38+400	570437	1847094	ท่อลอด	2	P0.60	2	P0.80
303	23	1311	1+600	585782	1861205	สะพาน	3	5x6x5	3	8
304	23	1311	12+500	586524	1860979	สะพาน	1	9x10	1	12
305	23	1311	12+020	586597	1860435	สะพาน	3	10x10	3	12
306	23	1311	4+900	587896	1860032	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.75x3
307	23	1311	5+995	588834	1859664	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
308	23	1311	4+459	591265	1859652	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
309	23	1311	8+842	591645	1859690	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
310	23	1293	28+850	595795	1861178	ท่อลอด	1	P1.20	1	P1.50
311	23	1293	30+500	597465	1861517	ท่อลอด	2	P1.20	2	P1.50
312	23	1293	30+920	597777	1861801	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
313	31	1113	33+250	578010	1914398	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
314	31	1113	32+800	577853	1913895	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
315	31	1113	32+560	577796	1913665	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
316	31	1113	32+350	577757	1913535	Box Culvert	2	2.1x2.1	2	2.4x2.1
317	31	1201	0+020	586679	1913939	Box Culvert	4	2.1x2.1	4	2.4x2.1
318	31	1201	0+210	586681	1914108	Box Culvert	4	2.1x2.1	4	2.4x2.1
319	31	1048	80+180	576551	1913957	ท่อลอด	1	P1.20	1	P1.50
320	31	1048	80+200	576575	1913955	ท่อลอด	2	P0.60	2	P0.80

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
321	31	1048	80+650	577050	1913927	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
322	31	1048	81+090	577524	1913899	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
323	31	1048	81+100	577541	1913888	สะพาน	3	5,6	3	8
324	31	1048	82+100	578488	1913846	Box Culvert	2	2.7x2.7	2	3x2.7
325	31	1048	82+600	578961	1913813	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
326	31	1048	82+750	579130	1913813	Box Culvert	4	2.1x2.1	4	2.4x2.1
327	31	1048	82+900	579288	1913826	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
328	31	1048	83+300	579646	1913835	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
329	31	1048	83+500	579928	1913834	สะพาน	3	7	3	8
330	31	1048	83+975	580386	1913874	Box Culvert	4	2.1x2.1	4	2.4x2.1
331	31	1048	84+300	580640	1913890	Box Culvert	4	2.1x2.1	4	2.4x2.1
332	31	1048	84+650	581004	1913912	สะพาน	1	9	1	10
333	31	1048	84+900	581343	1913942	Box Culvert	4	2.1x2.1	4	2.4x2.1
334	31	1048	86+300	582604	1913584	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
335	31	1048	87+400	583698	1913862	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.7x2.4
336	31	1048	88+150	584416	1913994	Box Culvert	4	2.4x2.4	4	2.7x2.4
337	31	1048	88+800	585036	1914058	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
338	31	1048	89+270	585564	1914041	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.7x2.4
339	31	1048	89+400	585668	1914022	Box Culvert	4	2.4x2.4	4	2.7x2.4
340	31	1048	89+600	585891	1913998	Box Culvert	4	2.4x2.4	4	2.7x2.4
341	31	1048	90+250	586544	1913991	ท่อลอด	3	P1.50	3	P2.00
342	31	1056	2+050	590255	1899299	สะพาน	3	7,8	3	10
343	31	1056	2+300	589978	1899404	สะพาน	3	9	3	10
344	31	1056	2+850	589481	1899592	สะพาน	3	8,9	3	10
345	31	1056	3+300	589076	1899746	สะพาน	3	9	3	10
346	31	1056	3+500	588847	1899832	สะพาน	3	6,7	3	8
347	31	1056	4+400	587996	1900015	สะพาน	3	10	3	12
348	31	1056	6+720	585860	1900495	สะพาน	3	8,9	3	10
349	31	1056	6+800	585772	1900528	สะพาน	3	5,6	3	8
350	31	1056	6+900	585603	1900591	สะพาน	3	7	3	8
351	31	1056	7+350	585260	1900719	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
352	31	1056	7+980	584604	1900965	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
353	31	1056	10+400	582186	1901062	Box Culvert	4	1.8x1.8	4	2.1x2.1
354	31	1056	10+950	581806	1900759	สะพาน	3	6,7	3	8
355	31	1056	11+100	581725	1900684	สะพาน	3	7,8	3	10
356	31	1056	11+700	581413	1900211	สะพาน	3	6,7	3	8
357	31	1056	12+800	580453	1899932	สะพาน	3	9,10	3	12
358	31	1056	13+320	579977	1899712	สะพาน	3	7	3	8
359	31	1056	13+500	579823	1899639	สะพาน	3	9,10	3	12
360	31	1056	13+900	579479	1899481	สะพาน	3	10	3	12

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
361	31	1056	14+100	579270	1899384	สะพาน	2	5	2	6
362	31	1056	14+950	578452	1899035	สะพาน	3	5	3	6
363	31	1056	15+100	578353	1898994	สะพาน	3	5	3	6
364	31	1056	15+700	577825	1898773	สะพาน	3	10	3	12
365	31	1056	16+300	577258	1898662	สะพาน	3	5	3	6
366	31	1056	18+025	575487	1898417	สะพาน	3	10	3	12
367	32	311	13+700	665075	1637922	สะพาน	3	8	3	10
368	32	311	10+854	667931	1637981	สะพาน	3	5	3	6
369	32	311	9+033	669708	1637745	สะพาน	4	10	4	12
370	32	311	8+707	670051	1637781	สะพาน	3	6,8	3	10
371	32	311	8+200	670512	1637814	สะพาน	1	10	1	12
372	32	311	7+785	670956	1637828	สะพาน	4	10	4	12
373	32	311	7+550	671179	1637835	สะพาน	6	6,10	6	12
374	32	311	5+907	672774	1637630	สะพาน	9	5,7	9	8
375	32	311	5+549	673102	1637567	สะพาน	7	10,20	7	15
376	32	311	5+300	673347	1637530	สะพาน	10	6	10	12
377	32	311	6+250	674157	1637045	สะพาน	3	8,10	3	12
378	32	311	8+725	676658	1636807	สะพาน	6	10,20	6	15
379	32	1	172+600	673690	1652378	ท่อดูด	2	P0.60	2	P0.80
380	32	1	171+900	673264	1651851	ท่อดูด	1	P0.60	1	P0.80
381	32	1	168+600	672690	1649657	ท่อดูด	2	P0.60	2	P0.80
382	32	1	167+030	673146	1648156	ท่อดูด	1	P0.60	1	P0.80
383	32	3024	13+600	672977	1652316	ท่อดูด	1	P0.60	1	P0.80
384	32	3024	13+700	672985	1652234	ท่อดูด	1	P0.80	1	P1.00
385	32	3024	13+900	673071	1652080	ท่อดูด	1	P0.80	1	P1.00
386	32	3196	58+100	671757	1648363	สะพาน	1	11	1	12
387	32	3016	1+100	676093	1637559	สะพาน	9	10,20	9	15
388	32	3016	2+550	675941	1636118	สะพาน	3	10	3	12
389	32	3016	6+550	676440	1634776	สะพาน	7	15	7	18
390	32	366	5+301	677732	1631916	สะพาน	3	10	3	12
391	32	366	5+450	677628	1631855	สะพาน	10	10,20	10	15
392	32	366	5+474	677576	1631825	สะพาน	3	10	3	12
393	32	366	5+947	677172	1631591	สะพาน	3	5,6	3	8
394	32	366	6+700	676554	1631339	ท่อดูด	1	P1.50	1	P2.00
395	32	366	6+900	676283	1631350	ท่อดูด	2	P0.80	2	P1.00
396	32	366	7+250	675987	1631364	ท่อดูด	2	P1.00	2	P1.20
397	32	366	7+300	675911	1631368	ท่อดูด	1	P0.80	1	P1.00
398	32	366	7+500	675740	1631374	ท่อดูด	1	P0.80	1	P1.00
399	32	366	7+950	675282	1631394	ท่อดูด	2	P0.80	2	P1.00
400	32	366	7+960	675269	1631394	ท่อดูด	2	P0.80	2	P1.00

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
401	32	366	8+100	675093	1631402	ท้อลอด	2	P0.80	2	P1.00
402	32	366	8+700	674511	1631441	ท้อลอด	2	P0.80	2	P1.00
403	32	366	9+200	674063	1631578	ท้อลอด	1	P0.80	1	P1.00
404	32	366	10+125	673142	1631866	สะพาน	3	9	3	10
405	32	366	10+900	672389	1632108	สะพาน	3	6,9	3	10
406	32	366	11+250	672104	1632182	สะพาน	7	10,20	7	15
407	32	366	11+800	671645	1632324	สะพาน	3	6	3	8
408	32	366	12+500	670887	1632562	ท้อลอด	2	P1.00	2	P1.20
409	32	366	13+900	669747	1633371	สะพาน	4	7	4	10
410	32	366	14+600	669284	1633899	ท้อลอด	2	P1.00	2	P1.20
411	32	366	15+100	668826	1634420	สะพาน	3	10	3	12
412	32	366	15+600	668666	1634602	ท้อลอด	1	P1.00	1	P1.20
413	32	366	15+985	668189	1635145	สะพาน	5	10	5	12
414	32	366	16+600	668044	1635331	ท้อลอด	2	P1.20	2	P1.50
415	32	366	16+800	667947	1635535	ท้อลอด	2	P1.20	2	P1.50
416	32	366	17+200	667802	1635840	ท้อลอด	1	P1.50	1	P2.00
417	32	366	17+800	667340	1636806	ท้อลอด	1	P1.00	1	P1.20
418	32	366	18+300	667274	1637244	ท้อลอด	1	P1.00	1	P1.20
419	32	366	18+500	667217	1637549	สะพาน	4	10,20	4	15
420	33	12	357+900	736685	1852482	ท้อลอด	1	P0.80	1	P1.00
421	33	12	359+150	737808	1851852	ท้อลอด	2	P1.50	2	P2.00
422	33	12	359+550	738168	1851645	ท้อลอด	3	P0.80	3	P1.00
423	33	12	359+600	738221	1851608	สะพาน	5	8,10	5	12
424	33	12	359+900	738408	1851410	ท้อลอด	2	P1.50	2	P2.00
425	33	12	359+980	738463	1851328	ท้อลอด	2	P1.50	2	P2.00
426	33	12	360+100	738553	1851185	ท้อลอด	2	P1.50	2	P2.00
427	33	12	360+250	738652	1851026	สะพาน	5	10,20	5	15
428	33	12	360+700	738895	1850759	ท้อลอด	2	P1.20	2	P1.50
429	33	12	360+750	738932	1850738	สะพาน	5	8,10	5	12
430	33	12	360+800	738978	1850713	ท้อลอด	2	P1.50	2	P2.00
431	33	12	361+000	739188	1850653	ท้อลอด	2	P1.50	2	P2.00
432	33	12	361+550	739765	1850677	ท้อลอด	2	P0.80	2	P1.00
433	33	12	362+200	740420	1850717	สะพาน	1	15	1	18
434	33	12	362+450	740623	1850730	ท้อลอด	1	P1.00	1	P1.20
435	33	12	363+550	741702	1850796	ท้อลอด	1	P1.00	1	P1.20
436	33	2215	0+350	730845	1842782	ท้อลอด	1	P1.00	1	P1.20
437	33	2215	0+390	730882	1842796	ท้อลอด	2	P1.00	2	P1.20
438	33	2215	0+990	731475	1842924	ท้อลอด	2	P0.80	2	P1.00
439	33	2215	1+600	732071	1842889	ท้อลอด	1	P0.80	1	P1.00
440	33	2215	1+800	732275	1842926	ท้อลอด	2	P1.20	2	P1.50

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
441	33	2215	2+300	732771	1843019	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
442	33	2215	2+980	733437	1843073	Box Culvert	2	3.6x3.3	2	3.6x3.6
443	33	2215	4+750	735136	1842587	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
444	33	2215	4+885	735234	1842522	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
445	33	2215	5+025	735359	1842427	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
446	33	2215	5+080	735400	1842395	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
447	33	2215	5+183	735483	1842332	สะพาน	7	5,7	7	8
448	33	2215	5+350	735564	1842272	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00
449	33	2215	5+443	735695	1842261	สะพาน	7	5,6	7	8
450	33	2215	5+862	736114	1842205	สะพาน	5	10,15	5	15
451	33	2215	6+500	736528	1842054	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
452	33	2215	6+950	736925	1842168	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
453	33	2215	7+541	737712	1842209	สะพาน	5	6	5	8
454	33	2215	7+800	737936	1842130	สะพาน	5	6,8	5	8
455	33	2215	8+000	738117	1842024	สะพาน	5	5	5	8
456	33	2215	8+020	738145	1842016	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
457	33	2215	8+200	738265	1841917	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
458	33	2215	9+040	739071	1841679	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
459	33	2215	9+400	739266	1841445	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
460	33	2215	9+900	739523	1840985	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
461	33	2215	9+950	739561	1840950	ท่อลอด	2	P0.80	2	P1.00
462	33	2215	10+200	739729	1840855	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
463	33	2215	10+650	740183	1840623	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
464	33	2215	11+422	740689	1840122	สะพาน	3	5	3	8
465	33	2215	13+003	741989	1839333	สะพาน	3	6,7	3	8
466	33	2215	14+500	743272	1839081	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
467	33	2181	0+005	739071	1850709	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
468	33	2181	0+050	739078	1850749	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
469	33	2181	0+075	739085	1850786	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
470	33	2181	0+180	739096	1850888	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
471	33	2181	0+250	739101	1850927	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
472	33	2181	0+500	739206	1851175	สะพาน	5	10	5	12
473	33	2181	1+010	739460	1851606	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
474	34	21	139+700	715207	1744562	สะพาน	5	8,9	5	10
475	34	21	146+714	715180	1751468	สะพาน	3	6,7	3	8
476	34	21	146+980	715204	1751736	สะพาน	3	7	3	8
477	34	3004	111+620	713961	1745680	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
478	34	3004	111+020	713375	1745704	ท่อลอด	2	P0.60	2	P0.80
479	34	3004	110+350	712711	1745520	ท่อลอด	3	P0.60	3	P0.80
480	34	3004	109+900	712151	1745331	ท่อลอด	1	P0.80	1	P1.00

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
481	34	3004	109+200	711625	1745163	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
482	34	3004	108+400	710944	1744894	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
483	34	3004	108+070	710562	1744794	สะพาน	1	24	1	30
484	34	3004	106+600	709154	1744347	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
485	34	3004	106+050	708648	1744159	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
486	34	225	123+800	721951	1751687	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
487	34	225	123+200	721357	1751527	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
488	34	225	122+020	720276	1751567	สะพาน	5	7,10	5	10
489	34	225	121+950	720132	1751589	สะพาน	3	10	3	12
490	34	225	121+600	719622	1751656	สะพาน	7	10,15	7	15
491	34	225	120+200	718478	1751412	สะพาน	7	10	7	12
492	34	225	119+950	718266	1751349	สะพาน	6	6,10	6	10
493	34	225	119+150	718023	1751319	สะพาน	3	18	3	20
494	34	225	118+972	717310	1751221	สะพาน	5	10	5	12
495	34	225	117+800	716090	1751058	Box Culvert	3	2.4x2.4	3	2.7x2.4
496	34	225	116+700	715170	1751166	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
497	34	225	113+600	712022	1751562	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
498	34	225	113+100	711559	1751599	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
499	34	225	112+625	711043	1751615	สะพาน	3	5,6	3	8
500	34	225	110+100	708530	1751643	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
501	34	225	109+300	707794	1751454	Box Culvert	1	2.1x2.1	1	2.4x2.1
502	34	225	108+700	707120	1751352	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
503	34	225	108+450	706767	1751474	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
504	34	225	108+200	706479	1751664	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
505	34	225	105+750	704404	1751344	Box Culvert	2	2.4x2.4	2	2.7x2.4
506	34	225	104+850	703506	1751090	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
507	35	1072	10+500	595887	1744239	Box Culvert	3	1.5x1.2	3	1.8x1.2
508	35	1072	11+500	595055	1743973	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
509	35	1072	12+900	593727	1743553	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
510	35	1072	14+600	591741	1742943	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
511	35	1072	14+800	591574	1742933	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
512	35	1072	16+900	589600	1742807	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
513	35	1072	19+950	586722	1742080	Box Culvert	3	2.1x2.1	3	2.4x2.1
514	35	1072	21+000	585836	1741563	Box Culvert	3	2.1x2.1	3	2.4x2.1
515	35	1072	23+460	583696	1741821	สะพาน	3	6	3	8
516	35	1072	23+960	583147	1741870	Box Culvert	3	1.8x1.8	3	2.1x2.1
517	35	1072	25+860	581307	1742303	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
518	35	1072	26+908	580319	1742541	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
519	35	1072	27+100	580118	1742587	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
520	35	1072	27+850	579312	1742778	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
521	35	1072	28+300	578929	1742898	Box Culvert	2	1.5x1.2	2	1.8x1.2
522	35	1072	28+320	578901	1742911	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
523	35	1072	28+850	578397	1743111	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
524	35	1072	28+980	578288	1743155	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
525	35	1072	29+300	577974	1743274	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
526	35	1072	29+350	577922	1743294	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
527	35	1072	29+500	577795	1743340	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
528	35	1072	29+510	577783	1743345	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
529	35	1072	29+525	577771	1743349	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
530	35	1072	29+697	577609	1743412	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
531	35	1072	29+775	577439	1743478	Box Culvert	3	1.8x1.8	3	2.1x2.1
532	35	1072	30+375	576981	1743647	Box Culvert	3	1.8x1.8	3	2.1x2.1
533	35	1072	30+800	576551	1743799	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
534	35	1072	31+300	576084	1743962	Box Culvert	4	1.5x1.2	4	1.8x1.2
535	35	1072	31+600	575793	1744068	Box Culvert	3	1.8x1.8	3	2.1x2.1
536	35	1072	32+200	575247	1744359	Box Culvert	2	2.1x2.1	2	2.4x2.1
537	35	1072	32+315	575174	1744406	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
538	35	1072	32+350	575070	1744473	Box Culvert	3	1.5x1.2	3	1.5x1.5
539	35	1072	33+125	574474	1744852	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
540	36	21	222+800	730213	1816604	สะพาน	3	7	3	8
541	36	21	222+950	730221	1816767	สะพาน	1	7	1	8
542	36	21	223+548	730010	1817337	สะพาน	3	10	3	12
543	36	2271	0+010	730858	1816560	สะพาน	5	7	5	8
544	36	2271	0+105	731852	1813871	สะพาน	9	10,30	9	15
545	36	2271	0+400	732167	1813680	สะพาน	3	6,7	3	8
546	36	2271	0+500	732245	1813665	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
547	36	2271	1+000	732874	1813623	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
548	36	2271	1+900	733756	1813246	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
549	36	2271	3+100	734932	1813033	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
550	36	2271	3+165	735049	1813022	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
551	36	2271	3+874	735752	1813033	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
552	36	2271	4+920	736773	1812987	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
553	36	2326	1+000	730824	1817305	สะพาน	5	6,8	5	8
554	36	2326	1+280	731759	1818986	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
555	36	2326	1+300	731768	1819012	ท่อลอด	2	P1.00	2	P1.20
556	36	2326	1+400	731822	1819158	ท่อลอด	1	P1.00	1	P1.20
557	36	2326	1+800	731896	1819482	ท่อลอด	1	P0.60	1	P0.80
558	36	2326	2+000	731955	1819800	ท่อลอด	2	P0.60	2	P0.80
559	36	2326	2+400	732365	1819722	ท่อลอด	3	P1.00	3	P1.20
560	36	2326	3+750	733329	1819533	สะพาน	5	7,9	5	10

ลำดับ	พื้นที่ ศึกษา	หมายเลข ทางหลวง	หลัก กม.ที่	พิกัด		ประเภทอาคาร	ขนาดอาคารเดิม		ขนาดอาคารใหม่	
				ตะวันออก	เหนือ		จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)	จำนวนช่อง	ขนาดแต่ละช่อง (ม.)
561	36	2326	3+800	733388	1819524	ทอลอด	4	P1.00	4	P1.20
562	36	2326	3+925	733509	1819500	ทอลอด	3	P1.00	3	P1.20
563	36	2326	4+500	734041	1819393	สะพาน	5	9	5	10
564	36	2326	6+550	736998	1818936	สะพาน	3	8,9	3	10



ภาคผนวก ง.
บทความทางวิชาการ

การปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำ บนทางหลวง

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำผ่านถนนของกรมทางหลวง ซึ่งได้เสนอแนะไว้ในคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง ปี พ.ศ. 2554 มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งได้แก่ วิธี Rational Method วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และ วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) เป็นต้น ซึ่งการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น จะมีข้อจำกัดในเรื่องการปรับปรุงข้อมูลให้มีความเป็นปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดขึ้น ดังนั้นในการศึกษารังนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และสร้างสมการการประเมินอัตราการไหลสูงสุดในรูปแบบใหม่ที่สามารถสะท้อนอิทธิพลจากลักษณะทางด้านกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำได้มากขึ้น และสามารถนำมาใช้กับข้อมูลที่เป็นปัจจุบันได้ทันที โดยในขั้นตอนของการดำเนินงานได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษานำร่องจำนวน 11 พื้นที่ ในเขตภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองแล้ว ได้นำแบบจำลองมาทำการประเมินอัตราการไหลสูงสุด สำหรับอาคารระบายน้ำในปัจจุบันของกรมทางหลวง จำนวนมากกว่า 1,400 แห่ง จากนั้นนำข้อมูลลักษณะทางด้านกายภาพซึ่งประกอบด้วย การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความลาดชันของพื้นที่ ประเภทของชุดดิน ปริมาณฝน และขนาดของพื้นที่รับน้ำสำหรับอาคารระบายน้ำแต่ละแห่ง มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางด้านสถิติ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า อัตราการไหลสูงสุดมีความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้น กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในวัน ขนาดพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ที่อยู่อาศัย และพื้นที่แหล่งน้ำ โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.76 ซึ่งสมการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดนี้สามารถที่จะนำไปใช้เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวงได้ต่อไป

คำสำคัญ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อัตราการไหลสูงสุด ทางหลวง ท่อลอด ท่อเหลี่ยม

Keywords: Mathematical Model, Peak Flow, Highway, Pipe Culvert, Box Culvert

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นจากภัยพิบัติเป็นประจำทุกปี โดยเฉพาะภัยพิบัติที่เกิดจากอุทกภัย สาเหตุหลักส่วนหนึ่งของปัญหาเป็นผลมาจากการพัฒนาเศรษฐกิจ ตลอดจนการเพิ่มจำนวนของประชากร ทำให้เกิดการรุกรานทางน้ำ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การตัดไม้ทำลายป่า รวมทั้งการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ดังนั้นเมื่อเกิดฝนตกหนักต่อเนื่อง ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนเป็นน้ำท่า (Surface Runoff) จึงมีมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่มีถนนตัดผ่าน ซึ่งถ้าระบบระบายน้ำโดยเฉพาะอาคารระบายน้ำมีขนาดเล็กหรือไม่เพียงพอ ก็จะทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากสร้างความเดือนร้อนให้แก่ประชาชน รวมถึงส่งผลเสียหายต่อชิ้นโครงสร้างทางচারุดได้

ที่ผ่านมาการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำผ่านถนนของกรมทางหลวงนั้น ใช้วิธีการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า ตามที่เสนอแนะไว้ในคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง ปี พ.ศ. 2554 [1] [2] ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี ได้แก่ วิธี Rational Method วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และ วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph) เป็นต้น ซึ่งการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น จะมีข้อจำกัดในเรื่องการปรับปรุงข้อมูลให้มีความเป็นปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่เกิดขึ้น จึงส่งผลให้การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าเพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง และลักษณะทางด้านกายภาพของพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงไป

กรมทางหลวง ได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากที่มักถูกประชาชนร้องเรียนว่า ถนนขวางทางน้ำเนื่องจากการระบายน้ำไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาวิจัยในโครงการนี้ขึ้น โดยในขั้นตอนแรกจะทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยมาเป็นพื้นที่ศึกษา เพื่อทำการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนาม จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์อย่างละเอียดในพื้นที่ที่ได้มีการคัดเลือกไว้ เพื่อให้ทราบถึงสภาพข้อเท็จจริงของศักยภาพในการระบายน้ำบนทางหลวง ตำแหน่งวิกฤตของการระบายน้ำผ่านถนน ตลอดจนปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการระบายน้ำ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ และเมื่อทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของการระบายน้ำแล้ว จะได้นำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบต่างๆ โดยลักษณะทางด้านกายภาพของพื้นที่ มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด ที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการประเมินได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

การปรับปรุงสมการการไหลสูงสุด เพื่อนำมาใช้สำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง ในบริเวณพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

3. ขั้นตอนดำเนินงาน

3.1 การคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง

ในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่อง จะดำเนินการในพื้นที่ภาคกลางของประเทศ โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

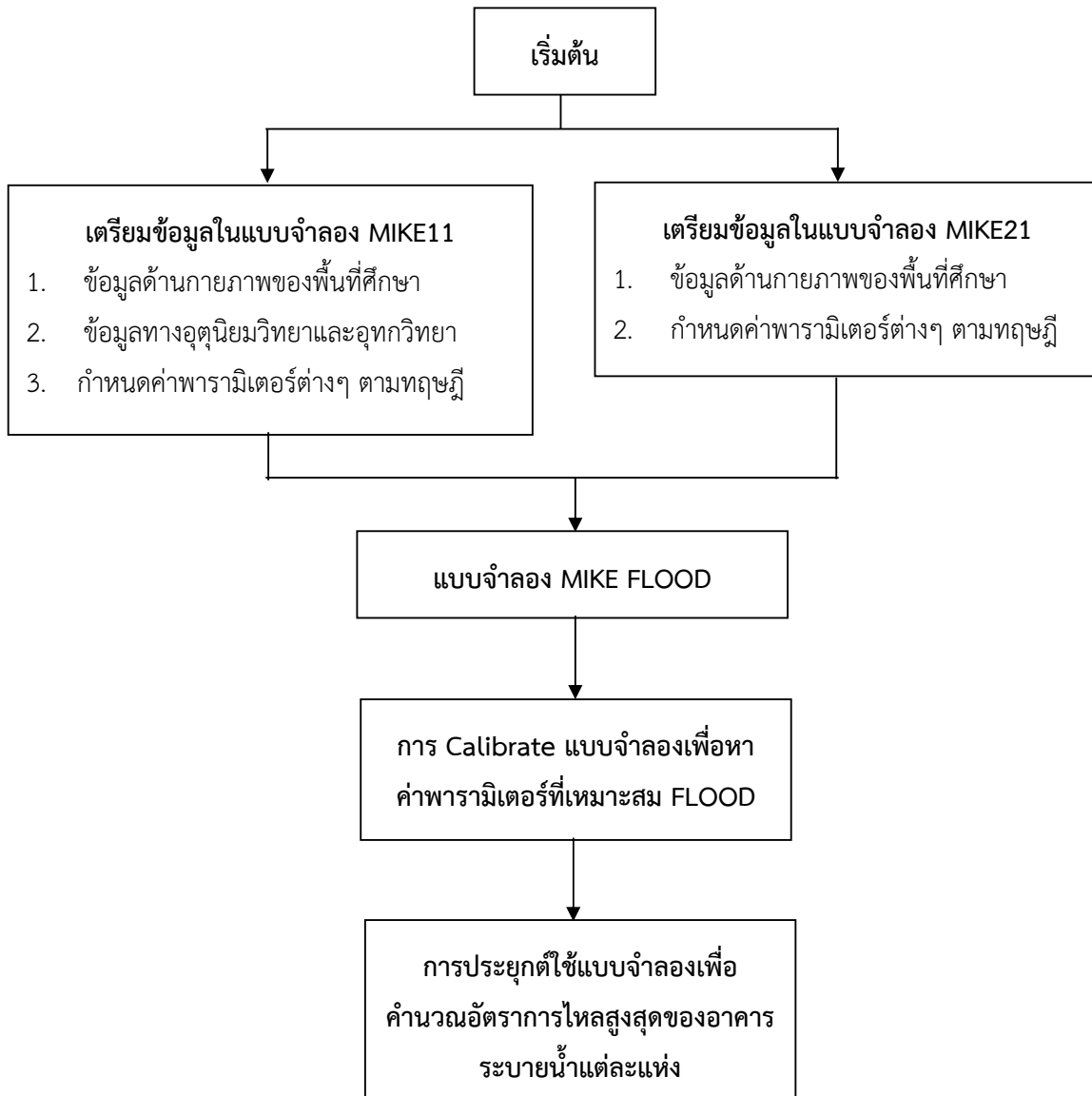
- 1) เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากสูง โดยใช้ข้อมูลแผนที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 (ปีล่าสุดที่มีการจัดทำข้อมูล)
- 2) มีการคัดเลือกให้ครอบคลุมลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกรูปแบบ ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการพิจารณา คือ ข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน ปีพ.ศ. 2559
- 3) มีการคัดเลือกให้ครอบคลุมลักษณะภูมิประเทศตามสภาพความสูงต่ำของพื้นที่ที่หลากหลาย โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองความสูงเชิงพื้นที่ (Digital Elevation Model) ของกรมแผนที่ทหาร ปี พ.ศ. 2558 มาใช้ในการพิจารณา
- 4) คัดเลือกพื้นที่ที่เคยมีรายงานการเกิดเหตุอุทกภัยบนทางหลวง ซึ่งได้มีการบันทึกไว้ฐานข้อมูลของระบบบริหารงานภัยพิบัติและสถานการณ์ฉุกเฉิน (Emergency Management System) กรมทางหลวง (ในช่วงระหว่าง ปี พ.ศ. 2555 ถึงปัจจุบัน มาใช้ในการพิจารณา

จากหลักการดังกล่าวข้างต้น สามารถคัดเลือกพื้นที่ศึกษานำร่องในงานวิจัยครั้งนี้ได้ 11 พื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 1

3.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษาด้านอุทกภัยในครั้งนี้ คือ แบบจำลอง Mike Flood ของ Danish Hydraulics Institute ประเทศเดนมาร์ก ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ด้าน Hydrodynamics ของสภาพการไหลในลำน้ำสายหลัก และในพื้นที่น้ำท่วม ประกอบด้วยแบบจำลองทางชลศาสตร์ทั้งแบบ 1 มิติ (1D) และ 2 มิติ (2D) และแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า (NAM Model) เพื่อใช้จำลองระบบโครงข่ายลำน้ำในพื้นที่โครงการฯ และนำมาใช้เป็นส่วนการคำนวณ/ประมวลผลสภาพทางชลศาสตร์ สำหรับศึกษา/วิเคราะห์สภาพการไหลในปัจจุบันรวมถึงใช้ศึกษาทางเลือกในการแก้ปัญหาอุทกภัยที่เหมาะสมในอนาคต โปรแกรมมีระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ดี สามารถแสดงผลการคำนวณในรูปแบบของแผนภูมิ ตาราง และแผนที่น้ำท่วมได้จาก DEM ที่สามารถ Integrate เข้าไปในแบบจำลอง และสามารถเชื่อมต่อกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้ (GIS) [3]

สำหรับขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ

ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติ จะใช้การวิเคราะห์ การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression) มาใช้ในการศึกษา โดยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple regression analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป กับตัวแปรตาม 1 ตัว ซึ่งในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณนั้นจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple correlation coefficient) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นว่ามีความสัมพันธ์กันเช่นใด สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณจะต้องหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ของตัวแปรตาม (y) และหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานรวมทั้งหาค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตามในรูปของสมการดังต่อไปนี้ [3]

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n$$

เมื่อ Y_i	คือ	ตัวแปรตาม
$X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$	คือ	ตัวแปรอิสระ
$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$	คือ	สัมประสิทธิ์การถดถอย
ε_i	คือ	ความคลาดเคลื่อนของค่าสังเกต i

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ จะต้องผ่านการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองเสียก่อน ซึ่งในการปรับเทียบแบบจำลองและตรวจพิสูจน์แบบจำลองในครั้งนี้ ได้มีการเปรียบเทียบผลการคำนวณขนาดพื้นที่น้ำท่วมจากแบบจำลองกับผลการสำรวจโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งเหตุการณ์ของการเกิดน้ำท่วม ช่วงเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมที่นำมาใช้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 และ 2

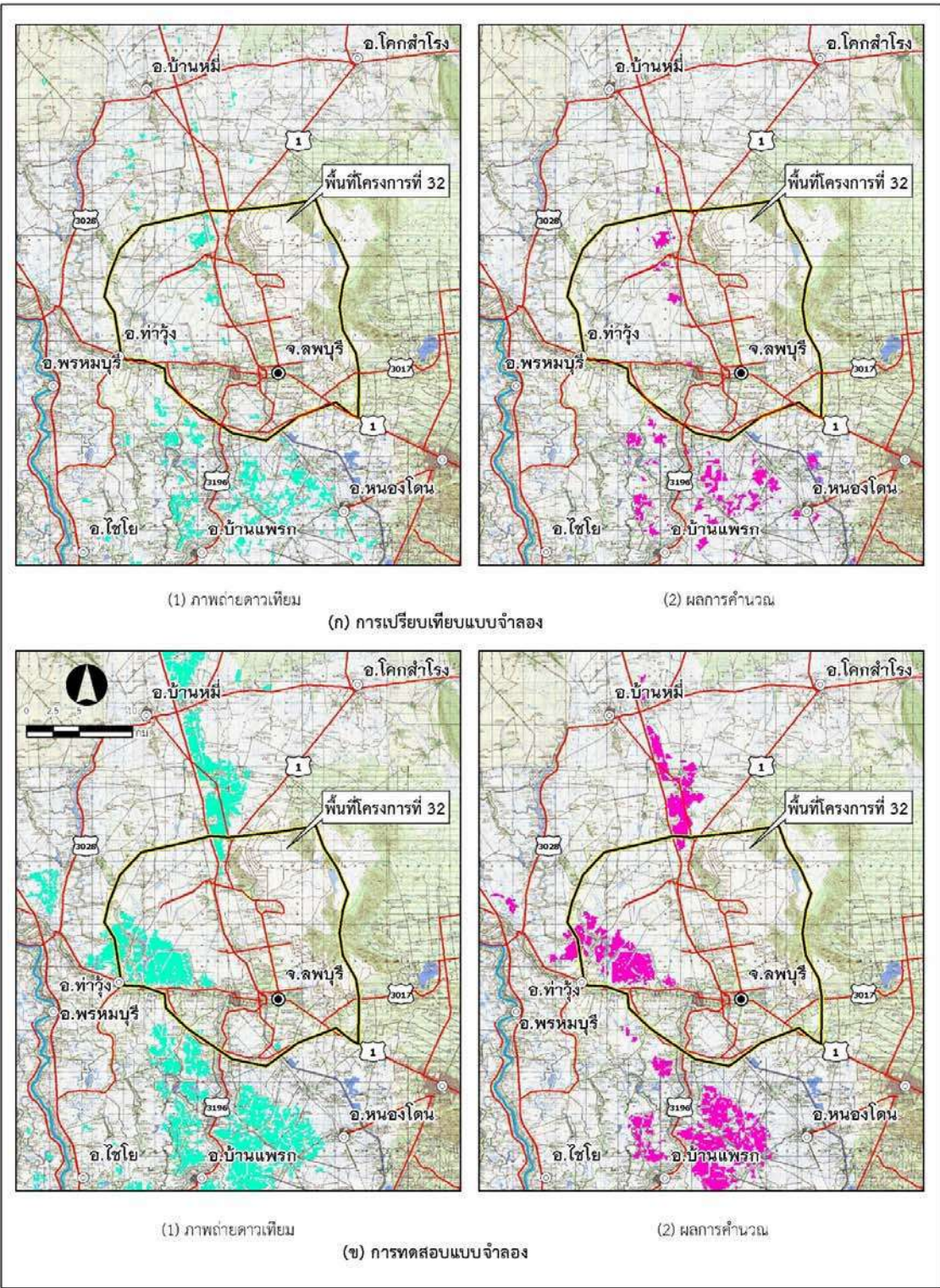
สำหรับตัวอย่างผลการปรับเทียบแบบจำลอง แสดงได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งหลังจากได้ทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองแล้ว จะนำแบบจำลองดังกล่าวมาคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของอาคารระบายน้ำแต่ละแห่ง เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ต่อไป

ตารางที่ 1 เหตุการณ์และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ที่นำมาใช้ในการศึกษา

เหตุการณ์นำท่วม	ช่วงเวลา	ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ (วันที่ถ่ายภาพ)
เหตุการณ์ที่ 1	15/9/2012 – 28/9/2012	15/9/2012, 17/9/2012, 20/9/2012, 22/9/2012, 23/9/2012, 27/9/2012, 28/9/2012
เหตุการณ์ที่ 2	30/9/2013 – 10/10/2013	30/9/2013, 2/10/2013, 6/10/2013, 7/10/2013, 9/10/2013, 10/10/2013
เหตุการณ์ที่ 3	20/9/2016 – 10/10/2016	20/9/2016, 30/9/2016, 3/10/2016, 7/10/2016, 8/10/2016, 10/10/2016
เหตุการณ์ที่ 4	26/7/2017 – 29/7/2017	26/7/2017, 28/7/2017, 29/7/2017

ตารางที่ 2 สรุปเหตุการณ์ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละพื้นที่ศึกษานำร่อง

ลำดับ	พื้นที่ศึกษานำร่อง	เหตุการณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	
		แบบจำลอง	แบบจำลอง
1	พื้นที่ที่ 6	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
2	พื้นที่ที่ 7	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
3	พื้นที่ที่ 19	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
4	พื้นที่ที่ 20	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
5	พื้นที่ที่ 23	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
6	พื้นที่ที่ 31	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
7	พื้นที่ที่ 32	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
8	พื้นที่ที่ 33	เหตุการณ์ที่ 3	เหตุการณ์ที่ 4
9	พื้นที่ที่ 34	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 3
10	พื้นที่ที่ 35	เหตุการณ์ที่ 1	เหตุการณ์ที่ 2
11	พื้นที่ที่ 36	เหตุการณ์ที่ 3	เหตุการณ์ที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองคณิตศาสตร์

4.3 ผลการปรับปรุงสมการการคำนวณอัตราการไหลสูงสุด

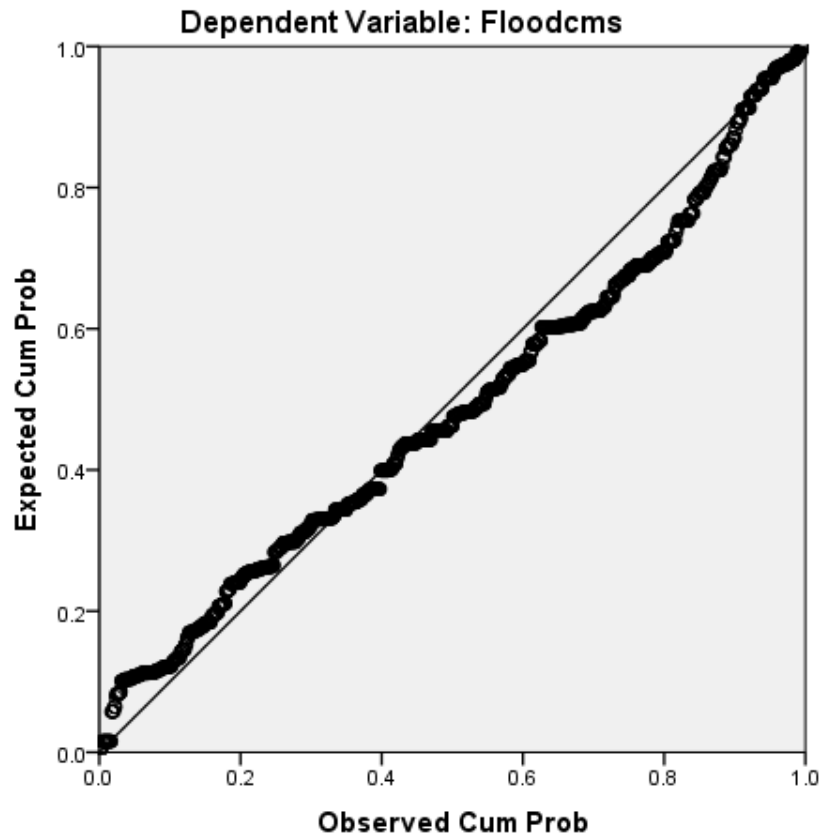
.ในการปรับปรุงสมการการไหลสูงสุด ได้ทำการศึกษาทบทวนปัจจัยทางด้านกายภาพที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่าและอัตราการไหลสูงสุด ซึ่งพบว่า การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปริมาณฝนที่ตก ขนาดพื้นที่รับน้ำ ความลาดชันของพื้นที่และประเภทของดิน เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบ จากนั้นได้นำโปรแกรมระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มาวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยทางด้านกายภาพดังกล่าวสำหรับอาคารระบายน้ำแต่ละแห่ง จากนั้น นำผลการวิเคราะห์ที่ได้ เข้าสู่โปรแกรมทางด้านสถิติ SPSS โดยกำหนดตัวแปรตามคือ อัตราการไหลสูงสุด ในขณะที่ตัวแปรอิสระคือข้อมูลทางด้านกายภาพ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติและการปรับแก้ Multicollinearity พบว่า สามารถกำหนดสมการความสัมพันธ์ของอัตราการไหลสูงสุดกับลักษณะทางด้านกายภาพต่างๆ ได้ดังนี้

$$Q_{\text{peak}} = 11.405 + 0.111\text{Rain} + 0.319\text{For} + 1.634\text{Res} + 0.433\text{Wat}$$

โดยที่	Qpeak	คือ	อัตราการไหลสูงสุด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
	Rain	คือ	ปริมาณฝนที่ตก (มิลลิเมตร)
	For	คือ	พื้นที่ป่าไม้ (ตารางกิโลเมตร)
	Res	คือ	พื้นที่ที่อยู่อาศัย (ตารางกิโลเมตร)
	Wat	คือ	พื้นที่แหล่งน้ำ (ตารางกิโลเมตร)

เมื่อนำสมการดังกล่าวข้างต้น ไปตรวจสอบค่าความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับผลการคำนวณอัตราการไหลด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ พบว่า ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) สูงถึง 0.76 (ดังแสดงในรูปที่ 5)

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบ ผลการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดตามสมการที่นำเสนอ และการคำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5. สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสมการคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำสำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำ ผ่านถนน โดยมีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องมือ ซึ่งสมการที่วิเคราะห์ได้ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ ประกอบกับมีรูปแบบที่ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งวิศวกรหรือผู้ที่เกี่ยวข้อง สามารถนำไปใช้เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำในสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในพื้นที่มากขึ้น อันเป็นแนวทางในการบรรเทาปัญหาน้ำท่วม สำหรับพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมทางหลวง 2554 คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เล่มที่ 1
- [2] กรมทางหลวง 2554 คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เล่มที่ 2
- [3] DHI, 2012 Manual of MIKE Flood
- [4] Mosteller, F., & Tukey, J. W. (1977). Data analysis and regression. Reading, MA: Addison-Wesley.

Modification of the maximum flow rate equation for the design of drainage building on the highway

Abstract

Nowadays there are several methods recommended in the guidelines for the design of drainage and erosion prevention in highways in 2011 for designing the drainage systems to drain water via the road of the Department of Highways such as Rational Method, Unit Hydrograph Method, and Synthetic Unit Hydrograph Method. Nevertheless, these methods have limitations in term of up-to-date data modifications in order to make the estimated results fit with the current climate change conditions. Therefore, the objectives of this study are to analyze and modify an equation to quantify maximum flow rates which could better reflect the physical characteristics of the watershed and can be immediately applied with the up-to-date data. In this work, mathematical models are applied with 11 pilot study areas in the central region of Thailand. After calibrating and validating the mathematical models, the models are used for quantifying the maximum flow rates of more than 1,000 current drainage buildings of the Department of Highways. Afterwards, the physical characteristics of each drainage building including land use, the area slope, type of soil series, precipitation and size of water receiving area are considered to analyze statistical correlation. According to the analysis, the maximum flow rates have the linear relationships with the specific precipitation rate; the size of water receiving area; the size of forest, residential and water resources areas. The correlation coefficient is 0.76. Water flow characteristics based on the maximum flow rate equation can be applied for the design of drainage buildings of the Department of Highways in the future.

Keywords: Mathematical Model, Peak Flow, Highway, Pipe Culvert, Box Culvert

1. Introduction

In Thailand, damages from disasters severely cause problems every year. One of the major disasters is flood partially caused by the intrusion of water receiving area, land use change, deforestation, hardscape infrastructure expansion induced from the economic development and population growth. The continuous heavy rain could lead to increasing surface runoff especially in the areas with road. If the drainage system (i.e. the drainage building) is too small or insufficient, this will cause recurrent flood problems which are nuisance to the public and may damage the structure of the highway.

The existing design for the drainage systems of the Department of Highways applied the methods to quantifying the maximum runoff flow rate according to the guidelines for the design of drainage and erosion prevention in highways in 2011 [1] [2] which consist of 4 methods - the Rational Method, the Unit Hydrograph method, the Regional Flood Frequency Analysis method and the Synthetic Unit Hydrograph method. These methods have limitations in the data modification. As a result, the maximum runoff flow rates quantified by using the methods do not reflect the actual conditions with changed physical characteristics of the specific study area.

The Department of Highways has acknowledged the importance of these problems especially the recurrent floods which have been complained by the public that road/highway blocks the water flows and the lack of sufficient drainage systems. Therefore, the study is undertaken to initially analyze the recurrent flood risk areas in the central region of Thailand and to carry out surveys for data collection. Afterwards, the detailed analyses of the selected study areas are carried out in order to understand the actual performances of the drainage systems on highway, the critical position of the drainage via road and other factors affecting the drainage characteristics. These factors are used in the regression analysis and modification of the maximum flow rate equation which is more suitable and has higher efficiency in the flow rate prediction.

2. Objectives

The objectives of this study are to analyze and modify a maximum flow rate equation which can be applied for the design of drainage buildings of the Department of Highways in the central region of Thailand.

3. Methods

3.1 The criteria for study area selection

The criteria for selecting the pilot study areas in the central region of Thailand are shown below.

- 1) The pilot study areas should have high recurrent flood risks based on the recurrent flood map of the Land Development Department in 2015 (the latest available data)
- 2) The pilot study areas should have all types of land use based on the land use data from the Land Development Department in 2016
- 3) The pilot study areas should have varieties in topography and elevation based on the data from the Digital Elevation Model of the Royal Thai Survey Department in 2015
- 4) The pilot study areas should have previous flood incidents on the highway with records in the emergency management system database of the Department of Highways (from 2012 to present)

According to the above-mentioned criteria, 11 pilot study areas are selected and illustrated in **Figure 1**.

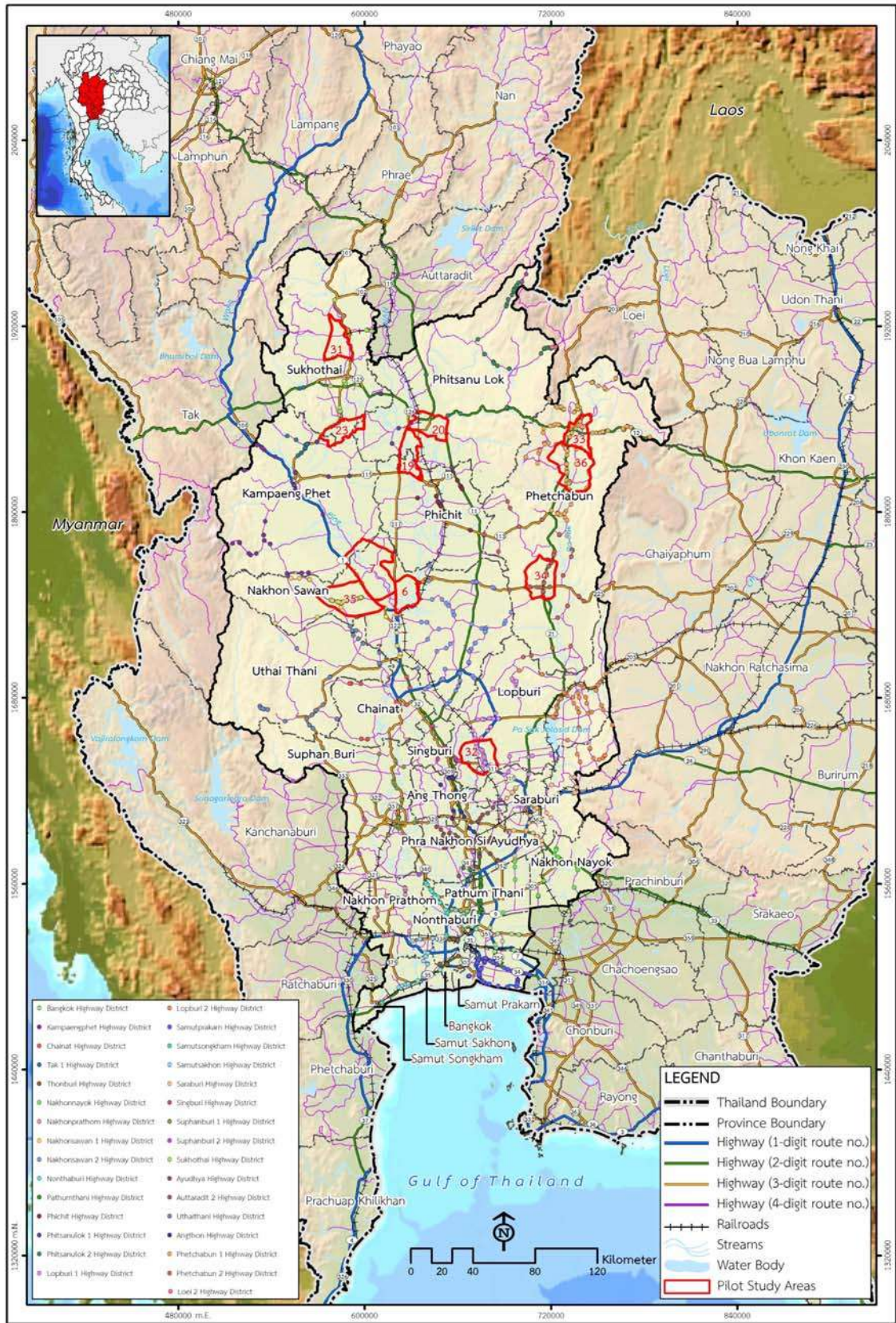


Figure 1 The pilot study areas of this project

3.2 The method for mathematical model applications

The mathematical models applied in this study are Mike Flood models of the Danish Hydraulics Institute in Denmark which are the program for analyzing hydrodynamics of the flow characteristics for the main water stream and flood areas. The models consist of 1D and 2D hydraulics models and NAM Model which are applied for modelling water networks in the study area. The models are also used as a part for estimating the hydraulic characteristics in order to study/analyze the current flow characteristics and to select the potential solutions to properly solve flood problems in the future. The program has a qualified database management and can demonstrate the calculation results in graphs, tables and flood maps from DEM which could be integrated with the model and connected with GIS system [3].

The approach to the mathematical model application is shown in **Figure 2**.

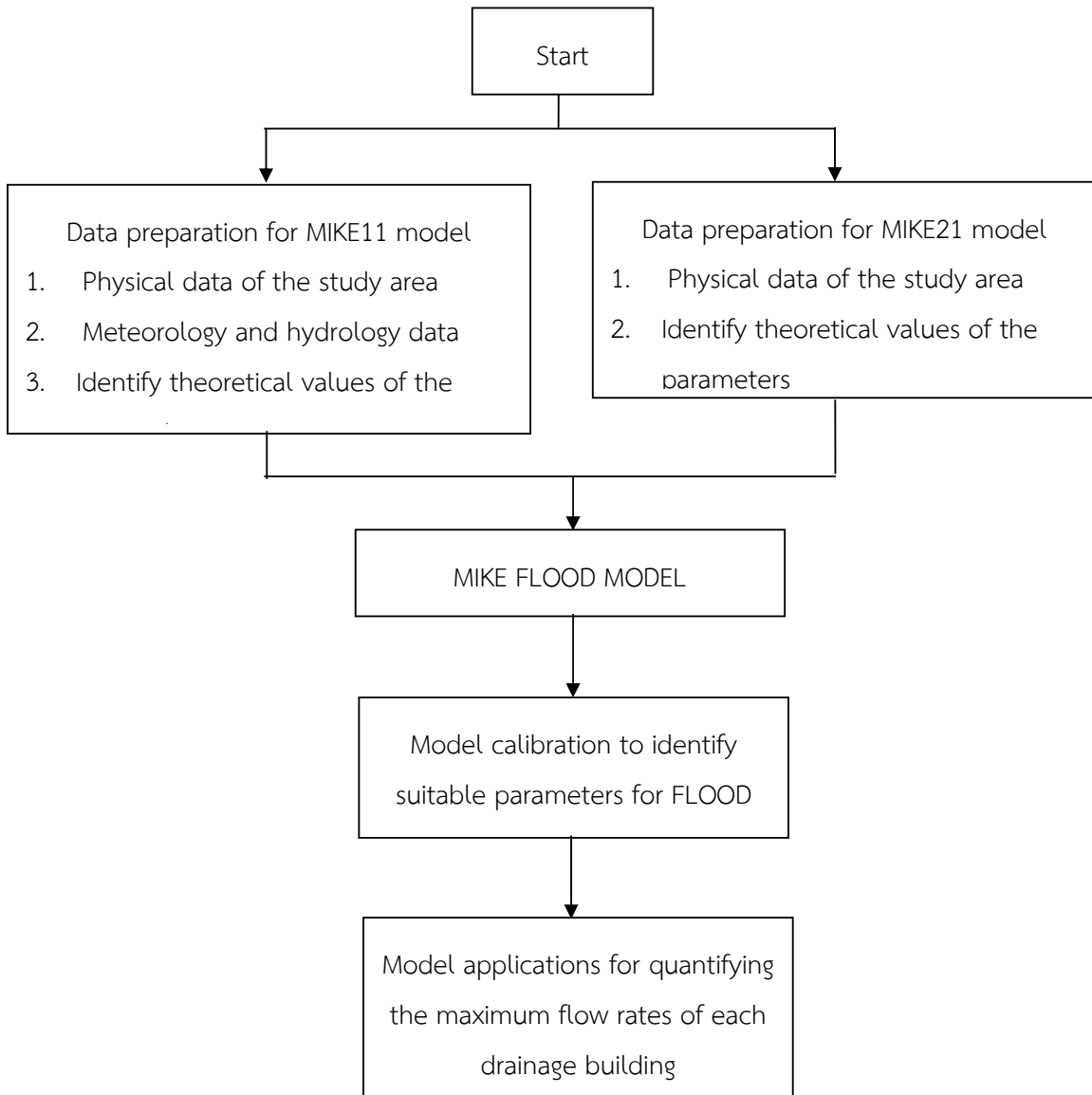


Figure 2 The approach to the mathematical model application

3.3 The statistical correlation analysis

In this statistical analysis, a multiple regression analysis is applied for studying the relationships between a dependent variable (which could be used to predict at least two parameters) and an independent variable. In the multiple regression analysis, the multiple correlation coefficient will be identified so as to understand the relationships between the dependent and independent variables. The equation used on the multiple regression analysis for predicting a dependent variable with multiple correlation coefficients and the standard errors is shown below [3].

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Where

- Y_i = Dependent variable
- $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$ = Independent variables
- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ = Multiple correlation coefficient
- ε_i = Error of the observed value i

4. Results and discussion

4.1 The mathematical model applications

The applied mathematical models need to be calibrated and validated prior to applications. In the model calibration and validation of this study, the flooding areas derived from the models and the survey data from the satellite imagery are compared. The flood incidents and time periods of the satellite imagery are concluded in **Tables 1 and 2**.

The examples of model calibration and validation results are illustrated in **Figure 3**. After the model calibration and validation, the mathematical models are applied for quantifying the maximum flow rates of each drainage building in order to be used for analyzing correlations with physical characteristics of the study areas.

Table 1 The incidents and satellite imagery data applied in this study

Flood Incidents	Time Period	The applied satellite imagery (photo taken date)
Incident No.1	15/9/2012 – 28/9/2012	15/9/2012, 17/9/2012, 20/9/2012, 22/9/2012, 23/9/2012, 27/9/2012, 28/9/2012
Incident No.2	30/9/2013 – 10/10/2013	30/9/2013, 2/10/2013, 6/10/2013, 7/10/2013, 9/10/2013, 10/10/2013
Incident No.3	20/9/2016 – 10/10/2016	20/9/2016, 30/9/2016, 3/10/2016, 7/10/2016, 8/10/2016, 10/10/2016
Incident No.4	26/7/2017 – 29/7/2017	26/7/2017, 28/7/2017, 29/7/2017

Table 2 The incidents applied in the model calibration and validation for each study area

No.	The pilot study areas	The incident applied in the model calibration	The incident applied in the model validation
1	Area No.6	Incident No.1	Incident No.2
2	Area No.7	Incident No.1	Incident No.2
3	Area No.19	Incident No.1	Incident No.2
4	Area No.20	Incident No.1	Incident No.2
5	Area No.23	Incident No.1	Incident No.2
6	Area No.31	Incident No.1	Incident No.2
7	Area No.32	Incident No.1	Incident No.2
8	Area No.33	Incident No.3	Incident No.4
9	Area No.34	Incident No.1	Incident No.3
10	Area No.35	Incident No.1	Incident No.2
11	Area No.36	Incident No.3	Incident No.4

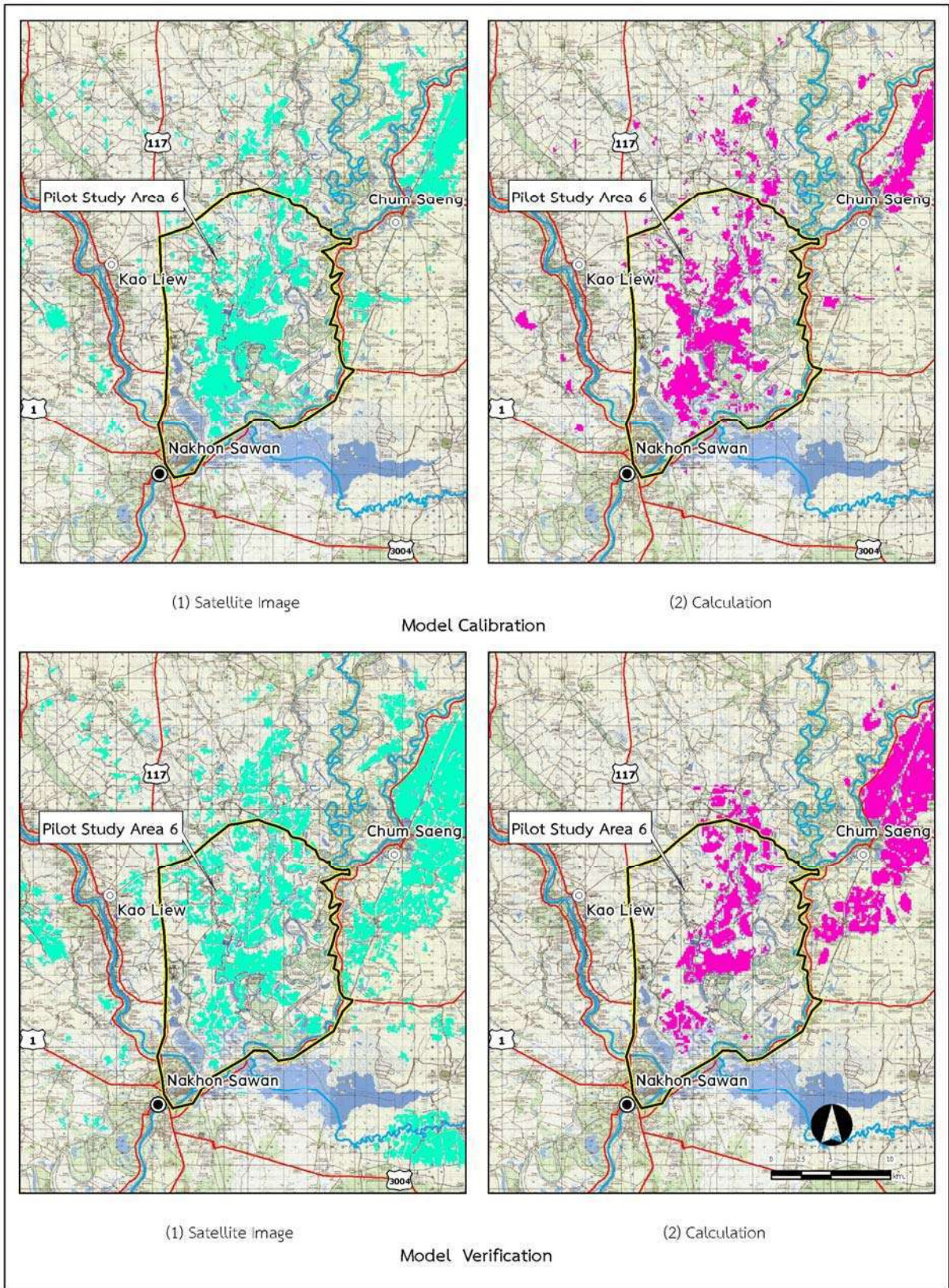


Figure 4 The examples of the results from the mathematical model calibration and validation

4.3 The modification of the maximum flow rate equation

According to the review during the modification of the maximum flow rate equation, the physical factors affecting runoff and the maximum flow rates are land use, the amount of precipitation, water receiving area, area slope and soil types. Afterwards, the GIS program is applied for analyzing the physical factors for each drainage building. The analyzed results are then used for SPSS analysis by indicating the maximum flow rate as the dependent variable whereas the physical data are independent variables. Based on the statistical analysis, the regression equation is shown below.

$$Q_{\text{peak}} = 11.405 + 0.111\text{Rain} + 0.319\text{For} + 1.634\text{Res} + 0.433\text{Wat}$$

Where Q_{peak} = Maximum flow rate (m^3/s)
Rain = The amount of precipitation (mm.)
For = Forest area (km^2)
Res = Residential area (km^2)
Wat = Water resources area (km^2)

The R^2 value of this equation when compared with Q_{peak} that calculated from mathematical model is 0.76. (as shown in Figure 5)

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual

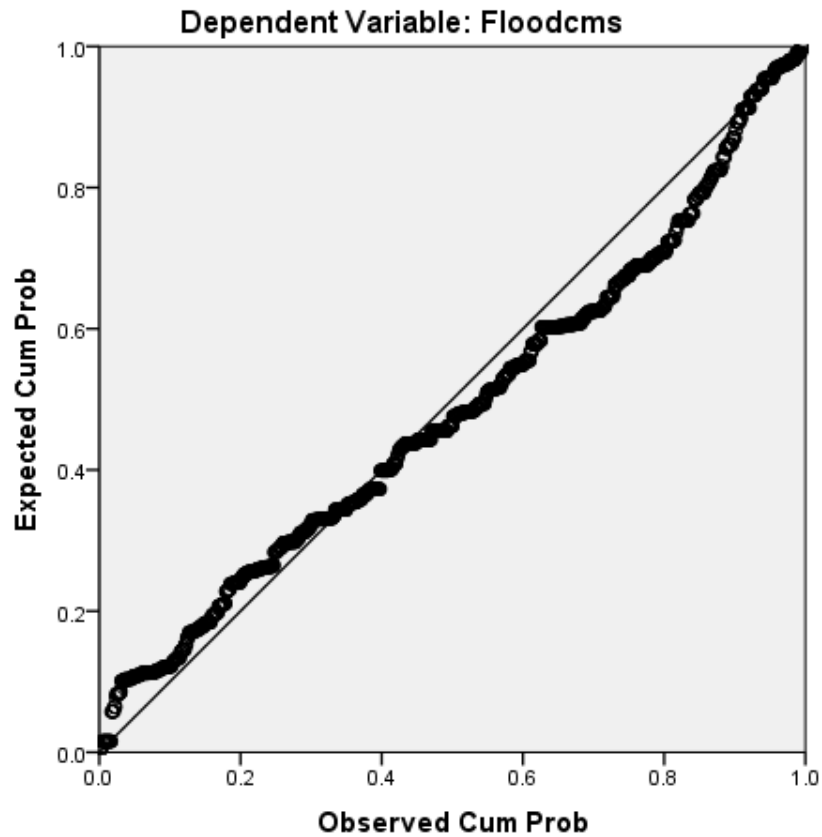


Figure 5 Qpeak comparison between generated equation and mathematical model

5. Conclusion

In this study, it is aimed at modifying an equation to calculate the maximum flow rates of runoff for the design of drainage building on highway by using mathematical models as a tool. The analyzed equation has a linear relationship with physical conditions of the area. Furthermore, the equation is easy for application and can be used by engineers or relevant stakeholders to design the drainage buildings to fit with actual situations of a specific area. The tool can be applied to reduce flood problems in the central region of Thailand in the future.

References

- [1] The Department of Highways (2011) Guidelines for the design of drainage and erosion prevention in highways. Volume 1.
- [2] The Department of Highways (2011) Guidelines for the design of drainage and erosion prevention in highways. Volume 2.
- [3] DHI, 2012 Manual of MIKE Flood
- [4] Mosteller, F., & Tukey, J. W. (1977). Data analysis and regression. Reading, MA: Addison-Wesley.



ภาคผนวก จ.
รายการการส่งงาน



การส่งรายงาน

- 1) รายงานเบื้องต้น (Inception Report) ที่เป็นรูปเล่มพร้อมเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแก้ไขได้จำนวน 10 ชุด ตามหนังสือนำส่งเลขที่ ศธ.๐๕๑๓.๑๐๘๑๐/๐๐๙๒ ลงวันที่ 20 ม.ค. 2560 โดยมีรายละเอียดของงานที่ส่งดังนี้
 - แผนการปฏิบัติงาน (Project Schedule)
 - แผนการทำงานของบุคลากรหลัก (Manpower Schedule)
 - ผังการบริหารของโครงการ (Organization Chart)
 - รายละเอียดของวิธีการศึกษาตามขอบเขตของงานตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในรายการข้อกำหนด

- 2) รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 (Progress Report 1) ที่เป็นรูปเล่มพร้อมเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแก้ไขได้จำนวน 10 ชุด ตามหนังสือนำส่งเลขที่ ศธ.๐๕๑๓.๑๐๘๑๐/๐๒๙๐ ลงวันที่ 6 มี.ค. 2560 โดยมีรายละเอียดของงานที่ส่งดังนี้
 - งานทบทวนวรรณกรรม ซึ่งประกอบด้วย
 - ผลการศึกษา ทบทวน และรวบรวมข้อมูลรวมทั้งทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบอาคารระบายน้ำ ตลอดจนแบบมาตรฐานอาคารระบายน้ำที่ใช้ในปัจจุบันของ กรมทางหลวง และ/หรือ หน่วยงานราชการอื่นที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 3 หน่วยงาน
 - ผลการศึกษา ทบทวน ทฤษฎี แนวคิดและวิธีการออกแบบระบบระบายน้ำในต่างประเทศ ที่พบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก และเป็นประเทศที่มีความเชี่ยวชาญ
 - การศึกษา ทบทวน วิธีการออกแบบอาคารระบายน้ำที่ใช้ในปัจจุบันของกรมทางหลวง อาทิเช่น วิธี Rational Method วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) วิธีกราฟความถี่น้ำท่วมเชิงภูมิภาค (Regional Flood Frequency Analysis) และ วิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าสังเคราะห์ (Synthetic Unit Hydrograph)
 - งานคัดเลือกพื้นที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วย
 - ผลการรวบรวมข้อมูลแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากของประเทศไทย จากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากบนทางหลวงทั่วประเทศ
 - ผลการศึกษาสภาพปัญหาน้ำท่วมอันเนื่องมาจากปัญหาการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวงในปัจจุบัน รวมถึงการศึกษาปัจจัยสำคัญทั้งในเขตทางหลวงและนอกเขตทางหลวง ที่อาจส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำท่วมดังกล่าว



- ผลการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาในพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมซ้ำซากบนพื้นที่ภาคกลาง 11 แห่ง โดยมีขนาดพื้นที่เฉลี่ยต่อแห่งไม่ต่ำกว่า 200 ตารางกิโลเมตร สำหรับการสำรวจและวิเคราะห์รายละเอียดโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพื้นที่ได้คัดเลือกเป็นพื้นที่ที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมซ้ำซากที่สำคัญของประเทศ และที่ปรึกษาได้เสนอแนะแนวทาง/ปัจจัยในการคัดเลือกพื้นที่ศึกษาเพื่อประกอบการตัดสินใจให้กับคณะกรรมการกำกับโครงการ อนุมัติก่อนดำเนินงาน
- 3) รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 (Progress Report 2) ที่เป็นรูปเล่มพร้อมเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแก้ไขได้จำนวน 10 ชุด ตามหนังสือคำสั่งเลขที่ ศธ.๐๕๑๓.๑๐๘๑๐/๐๖๔๒ ลงวันที่ 19 มิ.ย. 2560 โดยมีรายละเอียดของงานที่ส่งดังนี้
- ความก้าวหน้างานศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำทำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง ซึ่งประกอบด้วย
 - ผลการรวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา ได้แก่ขนาดพื้นที่รับน้ำ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลระดับน้ำของสถานีต่างๆ เป็นต้น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ฯ บนพื้นที่ศึกษา
 - ผลการจัดหาข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ความลาดชันพื้นที่ ผังเมือง และสภาพการใช้ที่ดิน ได้แก่ ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขขนาด 1:4,000 (Digital Elevation Model, DEM) จำนวน 550 ไร่ ขอบข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินขนาด 1:25,000 จำนวน 11 แห่ง และ ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์อื่น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ฯ บนพื้นที่ศึกษา
 - ความก้าวหน้าการสำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ (Topographic Survey) รวมถึงการสำรวจตำแหน่ง ขนาด หรือมิติของระบบระบายน้ำ โดยเฉพาะโครงข่ายอาคารระบายน้ำของทุกหน่วยงาน ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งรวมถึงการสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง/ตัดแปลงระบบระบายน้ำเดิมเนื่องจากการพัฒนาพื้นที่หรือการดำเนินการอื่นที่ทำให้ระบบระบายน้ำแตกต่างไปจากระบบระบายน้ำตามธรรมชาติ และการสำรวจข้อมูลอื่นที่คณะกรรมการกำกับโครงการเห็นว่าจำเป็นสำหรับการศึกษา เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ฯ บนพื้นที่ศึกษา
 - ความก้าวหน้าการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา 11 แห่ง ภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน (รูปแบบของขนาดและจำนวนอาคารระบายน้ำ ตามผลการสำรวจในปัจจุบัน) โดยที่ปรึกษามีการปรับความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Verification) ในแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม RadarSat2 หลังจากได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ปรับความถูกต้องแล้วที่ปรึกษาได้ทำการ



ตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม RadarSat2 ในอีกปีพ.ศ.หนึ่งที่เกิดน้ำท่วม (รวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม Radarsat 2 ที่ต้องจัดหาจำนวนทั้งสิ้น 22 รูป)

- 4) รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 3 (Progress Report 3) ที่เป็นรูปเล่มพร้อมเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแก้ไขได้จำนวน 10 ชุด ตามหนังสือคำสั่งเลขที่ ศช.๐๕๑๓.๑๐๘๑๐/๐๙๒๑ ลงวันที่ 11 ก.ย. 2560 โดยมีรายละเอียดของงานที่ส่งดังนี้
- ผลศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง ซึ่งประกอบด้วย
 - ผลการรวบรวมข้อมูลทางอุทกวิทยา ได้แก่ขนาดพื้นที่รับน้ำ ปริมาณน้ำฝน ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลระดับน้ำของสถานีต่างๆ เป็นต้น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ฯ บนพื้นที่ศึกษา
 - ผลการจัดหาข้อมูลสภาพภูมิประเทศ ความลาดชันพื้นที่ ผังเมือง และสภาพการใช้ที่ดิน ได้แก่ข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขขนาด 1:4,000 (Digital Elevation Model, DEM) จำนวน 550 ไร่ ข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินขนาด 1:25,000 จำนวน 11 แห่ง และ ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์อื่น เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ฯบนพื้นที่ศึกษา
 - ผลการสำรวจรายละเอียดภูมิประเทศ (Topographic Survey) รวมถึงการสำรวจตำแหน่ง ขนาดหรือมิติของระบบระบายน้ำ โดยเฉพาะโครงข่ายอาคารระบายน้ำของทุกหน่วยงาน ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งรวมถึงการสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง/ตัดแปลงระบบระบายน้ำเดิมเนื่องจากการพัฒนาพื้นที่หรือการดำเนินการอื่นที่ทำให้ระบบระบายน้ำแตกต่างไปจากระบบระบายน้ำตามธรรมชาติ และการสำรวจข้อมูลอื่นที่คณะกรรมการกำกับโครงการเห็นว่าจำเป็นสำหรับการศึกษา เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ฯบนพื้นที่ศึกษา
 - ผลการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การไหลของน้ำผ่านอาคารระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา 11 แห่ง ภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน (รูปแบบของขนาดและจำนวนอาคารระบายน้ำ ตามผลการสำรวจในปัจจุบัน) โดยที่ปรึกษามีการปรับความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Verification) ในแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม RadarSat2 หลังจากได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ปรับความถูกต้องแล้วที่ปรึกษาได้ทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม RadarSat2 ในอีกปีพ.ศ.หนึ่งที่เกิดน้ำท่วม (รวมข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม Radarsat 2 ที่ต้องจัดหาจำนวนทั้งสิ้น 22 รูป)



- ผลจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 11 แห่ง ที่ปรึกษาได้ทำการศึกษา/วิเคราะห์ดังนี้
 - ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในแต่ละพื้นที่ อาทิเช่น สภาพการใช้ที่ดิน ระบบระบายน้ำในชุมชน เป็นต้น แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัจจัยสำคัญที่อาจเป็นปัจจัยร่วมในทุกสภาพพื้นที่ และ ปัจจัยใดเป็นปัจจัยสำคัญเฉพาะบางพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเสนอแนวทางการปรับปรุงสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าให้เหมาะสมยิ่งขึ้น
 - ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity Analysis) ของแต่ละปัจจัยทั้งในเขตทางหลวงและนอกเขตทางหลวงตามผลการศึกษาข้างต้น เพื่อแสดงให้เห็นว่าหากแก้ไขปัจจัยเฉพาะบางปัจจัยหรือแก้ไขทุกปัจจัย จะสามารถบรรเทาปัญหาน้ำท่วมในแต่ละพื้นที่ได้อย่างไร ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการเสนอแนวทางการลดระดับความรุนแรงของปัญหาน้ำท่วมซ้ำซากในพื้นที่ดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและเป็นระบบ
 - ความก้าวหน้างานเสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำ ซึ่งประกอบด้วย
 - ผลการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำที่เหมาะสมขึ้น
- 5) ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (Draft Final Report) ที่เป็นรูปเล่มพร้อมเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแก้ไขได้จำนวน 10 ชุด ตามหนังสือนำส่งเลขที่ ศธ.๐๕๑๓.๑๐๘๑๐/๐๙๗๕ ลงวันที่ 26 ก.ย. 2560 โดยมีรายละเอียดของงานที่ส่งดังนี้
- ผลการทบทวนวรรณกรรม
 - ผลคัดเลือกพื้นที่ศึกษา
 - ผลศึกษาพฤติกรรมการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำของกรมทางหลวง
 - ผลการเสนอแนะแนวทางการออกแบบอาคารระบายน้ำ ซึ่งประกอบด้วย
 - ผลการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงสมการที่นำมาใช้ในการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่า เพื่อการออกแบบอาคารระบายน้ำที่เหมาะสมขึ้น
 - ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าที่คำนวณได้จากวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และจากแนวทางการคำนวณที่พัฒนาขึ้นใหม่ เทียบกับ ผลการคำนวณปริมาณอัตราการไหลสูงสุดของน้ำท่าในแต่ละพื้นที่จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาทั้ง ๑๑ แห่ง และเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียม RadarSat2
 - แบบแนะนำการก่อสร้างของอาคารระบายน้ำ สำหรับพื้นที่ศึกษาทั้ง 11 แห่ง เพื่อลดผลกระทบจากภาวะน้ำท่วมซ้ำซากบริเวณทางหลวง



- ผลการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำ ตามแนวทางการออกแบบที่เสนอขึ้นใหม่ เทียบกับปัจจุบัน
 - ผลการถ่ายทอดความรู้ ซึ่งประกอบด้วย
 - บทความทางวิชาการเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เพื่อถ่ายทอดความรู้ที่สำคัญที่ได้จากโครงการนี้
 - สื่อวีดิทัศน์เพื่อเป็นการถ่ายทอดความรู้ที่สำคัญที่ได้จากโครงการนี้ โดยมีความยาวไม่น้อยกว่า 5 นาที
 - ผลการจัดอบรมให้ความรู้แก่เจ้าหน้าที่กรมทางหลวง จำนวน 1 ครั้ง เป็นระยะเวลา 1 วัน จำนวนอย่างน้อย ๕๐ คน สถานที่ภายนอกกรมทางหลวง
 - ร่างรายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร
- 6) รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) นำส่งตามหนังสือเลขที่ ศธ.๐๕๑๓.๑๐๘๑๐/๑๒๖๔ ลงวันที่ 15 ธ.ค. 2560 โดยมีรายละเอียดของงานที่ส่งดังนี้
- รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) ที่เป็นรูปเล่มพร้อมเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแก้ไขได้ จำนวน 40 ชุด ซึ่งมีเนื้อหาครบถ้วนตามข้อกำหนดขอบเขตงาน
 - รายงานฉบับสมบูรณ์สำหรับผู้บริหารที่เป็นรูปเล่มและเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแก้ไขได้ (ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ) จำนวน 40 (สี่สิบ) ชุด