บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในสนาม และการปรับเทียบแบบจำลอง

ในบทที่ 3 ได้กล่าวเกี่ยวกับผลการเก็บข้อมูลภาคสนามของพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะเป็นข้อมูลภาคสนามที่นำมาประยุกต์ใช้ในบทนี้ โดยในบทนี้จะกล่าวถึง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในสนาม การปรับเทียบแบบจำลอง (model calibration) การตรวจสอบแบบจำลอง (model verification) เพื่อให้ได้ตัวแปรกำหนด (parameter) ที่เหมาะสมสำหรับแบบจำลองในการนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงระบบระบายน้ำเพื่อหาเกณฑ์การจัดการระบบระบายน้ำที่ดีขึ้น

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในสนาม

จากผลที่ได้ของข้อมูลภาคสนาม ทำให้ทราบลักษณะข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ศึกษาและข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา ซึ่งได้แก่ ข้อมูลฝน ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลอัตราการไหลที่จุดระบายออก และข้อมูลอัตราการซึม โดยผลของข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ทางด้านอุทกวิทยาที่แสดงให้ทราบถึงคุณสมบัติอุทกวิทยาของพื้นที่ได้ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะใช้สูตรของวิธีเรชั่นแนล ส่วนค่าอัตราการซึมจะวิเคราะห์ด้วยสูตรของฮอร์ตัน ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่นำไปใช้ในแบบจำลอง SWMM ต่อไป

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลค่าอัตราการไหล

เนื่องจากในการศึกษานี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลไว้จุดเดียวคือ ที่จุดไหลออกบริเวณใกล้โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยใช้ฝายวัดน้ำ (ข้อมูลและผลของอัตราการไหลดังในภาคผนวก ข.) ดังนั้น ผลของการวิเคราะห์จึงแสดงถึงคุณสมบัติรวมของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดของส่วนที่ใช้สำหรับการปรับเทียบแบบจำลองดังพื้นที่ทดลอง (รูปที่ 1-2)

4.1.1.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า

จากผลข้อมูลฝน และอัตราการไหล ซึ่งได้ทำการคัดเลือกจากข้อมูลทั้งหมดในช่วงระยะเวลาเก็บข้อมูล ได้เหตุการณ์ที่เหมาะสมมา 15 เหตุการณ์ ซึ่งการพิจารณาคัดเลือกนี้จะดูจากลักษณะของไฮโดรกราฟที่แสดงค่าอัตราการไหลสูงสุด (peak flow, Qp) ยอดเดียวที่เด่นชัดแล้วนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า, C โดยใช้สูตรของวิธีเรชั่นแนล

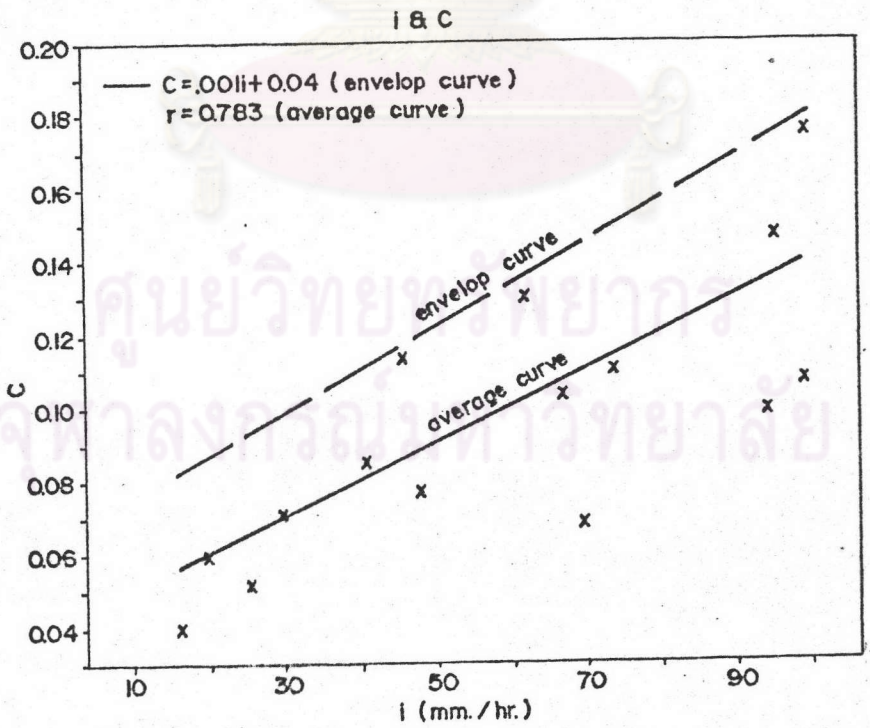
จากเหตุการณ์ทั้ง 15 เหตุการณ์ สามารถหาค่าปริมาณฝน (I), ค่าเวลาถึงน้ำหลากสูงสุด (Tp), ค่าความเข้มฝน (i), ค่าอัตราการไหลออกสูงสุด (Qp), และค่า C ที่คำนวณได้ดังแสดงในตารางที่ 4-1 สรุปผลของค่าตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ ดังในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ค่าต่าง ๆ ของเหตุการณ์ฝน 15 เหตุการณ์จากวิธีเรชั่นแนล

No.	EVENT	START TIME	I (mm)	Tp (min)	i (mm/hr)	Qp (lit/s)	C
1	14-JUL-88	01:13	11.0	33.0	20.0	15.4	0.059
2	18-JUL-88	21:33	25.0	36.6	41.0	45.1	0.085
3	30-JUL-88	15:45	33.0	20.0	99.0	137.1	0.107
4	10-AUG-88	23:10	22.0	29.0	45.6	67.0	0.113
5	20-AUG-88	01:15	9.0	21.3	25.4	17.0	0.052
6	30-AUG-88	00:18	36.0	35.0	61.7	103.9	0.130
7	14-SEP-88	15:02	33.0	20.8	95.3	181.1	0.147
8	16-SEP-88	02:30	29.0	26.1	66.6	89.9	0.104
9	16-SEP-88	23:32	13.0	47.5	16.4	8.4	0.040
10	17-SEP-88	12:00	33.0	21.1	93.9	120.8	0.099
11	17-SEP-88	19:30	20.0	25.1	47.9	47.7	0.077
12	20-SEP-88	00:00	19.0	16.4	69.4	60.9	0.068
13	23-SEP-88	00:50	11.0	22.1	29.9	27.4	0.071
14	26-SEP-88	10:05	35.0	21.1	99.3	225.6	0.175
15	17-OCT-88	18:08	23.0	18.8	73.5	105.2	0.111
	Average		23.5	26.3	59.0	83.5	0.096

หมายเหตุ : I คือ ปริมาณฝนตั้งแต่ฝนเริ่มตกจนถึงเวลาที่เกิดอัตราการไหลออกสูงสุด

$i = I/Tp \times 60$



รูปที่ 4-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า

ตารางที่ 4-2 ค่าของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 15 เหตุการณ์

ตัวแปร	ช่วงของค่าตัวแปร	เฉลี่ย	หน่วย
I	9.0 - 36.0	23.5	มม.
Tp	16.4 - 47.9	26.3	นาที
i	16.4 - 99.3	39.0	มม./ชม.
Qp	84 - 225.6	83.5	ล./ว.
C	0.04 - 0.18	0.096	

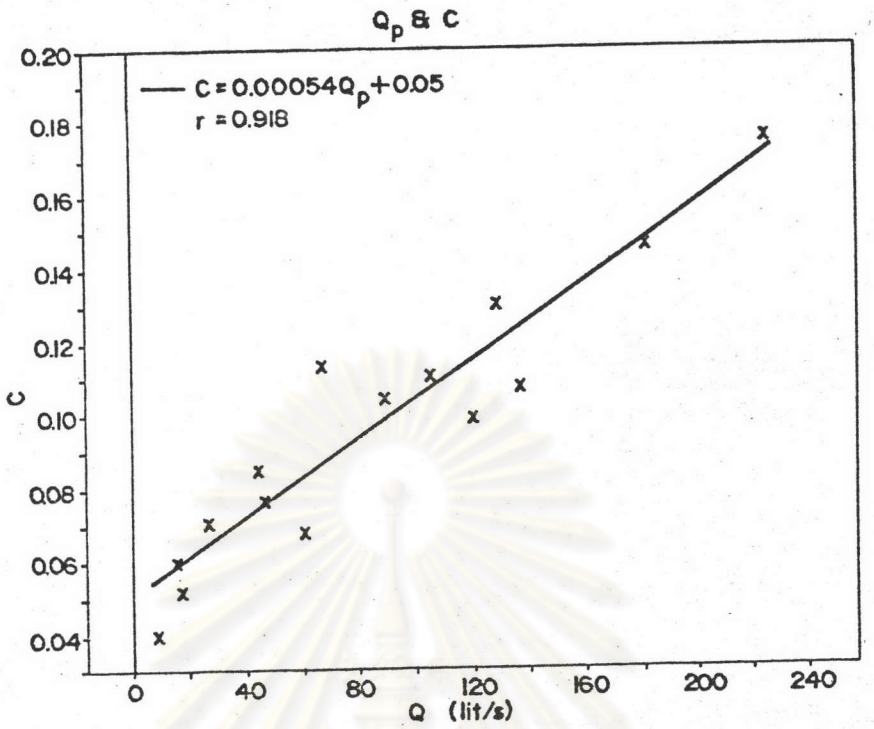
จากผลการคำนวณในตารางที่ 4-1 นำมาเขียนกราฟ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มฝนกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า ดังรูปที่ 4-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลออกสูงสุดกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า ดังรูปที่ 4-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มฝนกับค่าอัตราการไหลออกสูงสุด ดังรูปที่ 4-3

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มฝนกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า, C (รูปที่ 4-1) จะกระจายมีแนวโน้มสูงขึ้นตามค่าความเข้มของฝนที่เพิ่มขึ้น และค่าจะค่อนข้างกระจายมากขึ้นเมื่อค่าความเข้มของฝนค่าสูง ซึ่งสอดคล้องตามที่เคยมีผู้ศึกษามาการกระจายของค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่เป็นแถบดังกล่าวนี้มีผลเนื่องจากแฟคเตอร์หลายอย่าง ได้แก่ การเก็บกัก (depression storage) ซึ่งถ้าพื้นที่มีความแห้งการเก็บกักค่อนข้างมีมาก ทำให้ค่าอัตราการไหลออกสูงสุดต่ำ ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ามีค่าต่ำด้วย ค่าความชื้นของดินก็มีผลเช่นกันคือ ถ้าดินมีความชื้นต่ำ ทำให้ปริมาณการซึมของน้ำลงดินมีมากจึงมีผลให้ปริมาณการไหลออกสูงสุดลดลง ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าจึงมีค่าต่ำด้วย แต่ทั้งนี้ ค่าการเก็บกักและค่าการซึมน้ำของดินจะขึ้นกับระยะเวลา นั่นคือ เมื่อเวลาผ่านไปถึงจุดหนึ่งก็จะทำให้ปริมาณทั้งสองอิ่มตัว ผลกระทบเนื่องจากปริมาณทั้งสองจึงมีผลน้อย อาจทำให้อัตราการไหลออกสูงสุดเพิ่มขึ้นได้ กรณีดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เมื่อระยะเวลาการตกของฝนนั้นนานเกินเวลาถึงจุดอิ่มตัวของปริมาณการเก็บกักและการซึมน้ำของดิน เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีการเชิงถดถอย (regression) เพื่อหาสมการที่แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูล จะได้สมการเส้นตรง ดังนี้

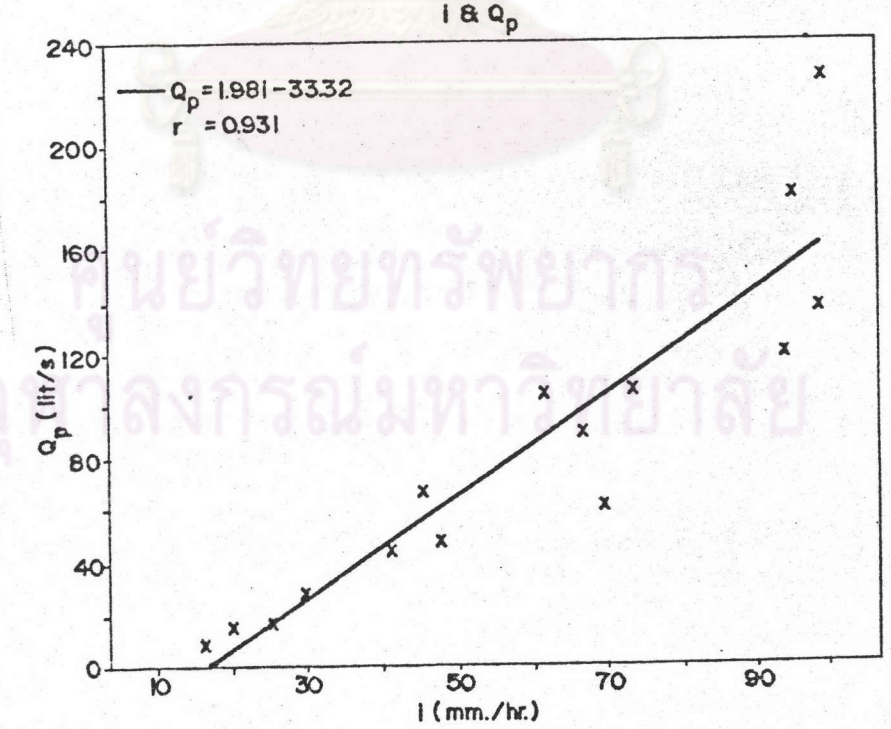
$$C = 0.001i + 0.04 \qquad \text{----------(4.1)}$$

correlation, r = 0.783

จากค่า r ที่ได้แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายค่อนข้างมาก อาจเนื่องจากผลของแฟคเตอร์ดังกล่าวแล้ว ซึ่งเส้นกราฟเฉลี่ยไม่สามารถนำมาเป็นค่าตัวแทนได้ ดังนั้น โดยการลากเส้นกราฟที่



รูปที่ 4-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลออกสูงสุด กับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า



รูปที่ 4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับค่าอัตราการไหลออกสูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คลุมผลข้อมูลทั้งหมด (envelop curve) จะได้เส้นกราฟเส้นประ ดังในรูปซึ่งจะให้ความปลอดภัยในการนำไปใช้งาน โดยจะได้ค่า C ในช่วง 0.08-0.18 ที่ค่าความเข้มฝนในช่วง 17.0-99.0 มม./ชม. ซึ่งมีรูปสมการ ดังนี้

$$C = 0.0012i + 0.059 \qquad \text{----------(4.2)}$$

โดย 17.0 มม./ชม. < i < 99.0 มม./ชม.

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลสูงสุดกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (รูปที่ 4-2) ลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลจะเป็นเส้นตรงในทำนองเดียวกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า i กับ C โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเชิงถดถอย (regression) เพื่อหาสมการที่แสดงค่าเฉลี่ยของข้อมูล จะได้เป็นสมการเส้นตรง ดังนี้

$$C = 0.00054Q_p + 0.05 \qquad \text{----------(4.3)}$$

correlation, r = 0.918

จากค่า r ที่ได้แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างดี และเส้นกราฟตัดแกนค่า C ที่ 0.05 นั่นคือ ที่ค่า C เท่ากับ 0.05 จะทำให้ค่าอัตราการไหลออกสูงสุดเท่ากับศูนย์

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับค่าอัตราการไหลออกสูงสุด (รูปที่ 2-3) จะเห็นว่าความเข้มของฝนเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการไหลออกสูงสุดเพิ่มขึ้น คือ มีลักษณะเส้นกราฟเป็นเส้นตรง โดยการวิเคราะห์วิธีเชิงถดถอย เพื่อหาสมการที่แสดงกราฟเฉลี่ยของข้อมูล จะได้สมการเส้นตรง ดังนี้

$$Q_p = 1.98i - 33.32 \qquad \text{----------(4.4)}$$

correlation, r = 0.931

จากค่า r แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันดี เมื่อแทนค่า Q_p เท่ากับศูนย์ จะได้ค่า i เท่ากับ 16.8 มม./ชม. นั่นคือ ที่ความเข้มฝน (เฉลี่ยของข้อมูลในพื้นที่ศึกษา) ตั้งแต่ 16.8 มม./ชม. จึงจะทำให้เกิดค่าการไหลออกสูงสุดที่เห็นไฮโดรกราฟได้เด่นชัด สำหรับกรณีที่ความเข้มฝนที่ต่ำกว่า 16.8 มม./ชม. อาจจะถูกการเก็บกัก (depression) หรือ การซึมลงดิน (infiltration) ก่อนที่จะเกิดการไหลออกสูงสุด

4.1.1.2 การวิเคราะห์ค่าเวลาน้ำหลากสูงสุด (time to peak, Tp)

จากพื้นที่ทดลองศึกษา ซึ่งมีพื้นที่ 46,638 ตร.ม. (11.52 เอเคอร์) ความยาวของพื้นที่ 334 เมตร (ใช้ความยาวของรางระบายน้ำหลัก) ความลาดชันเฉลี่ยของพื้นที่เท่ากับ 0.00293 พื้นที่ทึบน้ำ (impervious area) เท่ากับ 60% พื้นที่ซึมน้ำ (pervious area) เท่ากับ 40% โดยในการวิเคราะห์ค่า Tp จะนำมาสัมพันธ์กับค่าความเข้มฝน ซึ่งการหาค่า Tp นี้ได้มีผู้เสนอสูตรไว้หลายสูตรดังกล่าวไว้ในบทที่ 2 โดยสูตรของ Kerby และ Williams การหาค่า Tp จะไม่เกี่ยวข้องกับความเข้มฝน ส่วนสูตรของ Izzard และ Kinematic Wave จะเกี่ยวข้องกับความเข้มฝน ในการศึกษานี้จะวิเคราะห์ผลที่ได้ของแต่ละสูตรเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดจริง

จากสูตรของ Kinematic และ Izzard ซึ่งมีค่าคงที่ที่เกี่ยวข้อง คือ ค่า n (Manning roughness coefficient) และค่า c (retardance coefficient) ของแต่ละสูตรตามลำดับ โดยการหาค่า Bs (Bias) ที่น้อยที่สุด จากการแปรเปลี่ยนค่า n และ c แล้วนำไปเขียนกราฟหาค่าตัดศูนย์ ดังรูปที่ 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ จะได้ค่าคงที่ที่เหมาะสม คือ ได้ค่า n = 0.019 สำหรับสูตร Kinematic และค่า c = 0.0122 สำหรับสูตร Izzard แล้วนำไปคำนวณหาค่า Tp ดังในตารางที่ 4-3 และนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มฝน กับค่า Tp ดังรูปที่ 4-4

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า i และ Tp (รูปที่ 4-4) โดยการวิเคราะห์เชิงถดถอยเพื่อหาเส้นกราฟเฉลี่ยของข้อมูล ได้กราฟเส้นทึบ ดังรูป ซึ่งมีค่า correlation, r เท่ากับ -0.630 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลค่อนข้างกระจายมาก แต่มีลักษณะแนวโน้มลดลงแบบเอกโปรเนนเชียล ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความเข้มฝน-ความถี่-ช่วงเวลาฝนตก ตามทฤษฎี และจากการคำนวณด้วยสูตรของ Kinematic และ Izzard ตามค่าความเข้มฝนต่าง ๆ ดังค่าที่แสดงในตารางที่ 4-3 เมื่อหาค่ากำลังสองต่ำสุด (Root mean square) จะเห็นว่าสูตรของ Kinematic ให้ค่ากำลังสองต่ำสุดที่น้อยกว่าสูตรของ Izzard ดังนั้น แสดงว่าสูตรของ Kinematic ให้ผลที่ดีกว่าสูตรของ Izzard แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองสูตรนี้ยังไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากค่ากำลังสองต่ำสุดมีค่ามาก ซึ่งข้อมูลมีการกระจายมาก กราฟจากการคำนวณด้วยสูตรทั้งสองดังในรูปที่ 4-4

ในการวิเคราะห์หาค่า Tp โดยใช้สูตรของ Kerby และสูตรของ William จะได้ค่า Tp เท่ากับ 36 นาที และ 21.2 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย Tp จากข้อมูลวัดจริง เท่ากับ 23.9 นาที (เฉลี่ยโดยน้ำหนักกับความเข้มฝน) จะเห็นว่าสูตรของ William มีความเหมาะสมกว่า

สรุปผลการวิเคราะห์หาค่า Tp ดังในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-3 การคำนวณหาค่า Tp จากสูตร Kinematic และ Izzard

No.	EVENT	START TIME	i (mm/hr)	Tp (min)		
				(Observe)	(Kinematic)	(Izzard)
1	14-JUL-88	01:13	20.0	33.0	37.1	43.1
2	18-JUL-88	21:33	41.0	36.6	27.8	27.9
3	30-JUL-88	15:45	99.0	20.0	19.5	17.4
4	10-AUG-88	23:10	45.6	29.0	26.6	26.2
5	20-AUG-88	01:15	25.4	21.3	33.7	37.2
6	30-AUG-88	00:18	61.7	35.0	23.6	22.2
7	14-SEP-88	15:02	95.3	20.8	19.8	17.7
8	16-SEP-88	02:30	66.6	26.1	22.9	21.3
9	16-SEP-88	23:32	16.4	47.5	40.1	48.8
10	17-SEP-88	12:00	93.9	21.1	20.0	17.8
11	17-SEP-88	19:30	47.9	25.1	26.1	25.5
12	20-SEP-88	00:00	69.4	16.4	22.5	20.8
13	23-SEP-88	00:50	29.9	22.1	31.6	33.7
14	26-SEP-88	10:05	99.3	21.1	19.5	17.3
15	17-OCT-88	18:08	73.5	18.8	22.0	20.2
Average (min)				23.9	23.3	22.2
R square					24.3	28.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-4 สรุปผลการวิเคราะห์หาค่า Tp

ชื่อ	Tp (นาที)	หมายเหตุ
ค่าจากการวัด	23.9*	
Kerby/Hathaway	36.0	L = 334 เมตร n = 0.252** s = 0.00293
Bransby-Williams	21.2	s = 0.00293 A = 46,638 ตร.ม.
Kinematic Wave	23.3*	n = 0.019 s = 0.00293
Izzard	22.2*	c = 0.0122 L = 334 เมตร s = 0.00293

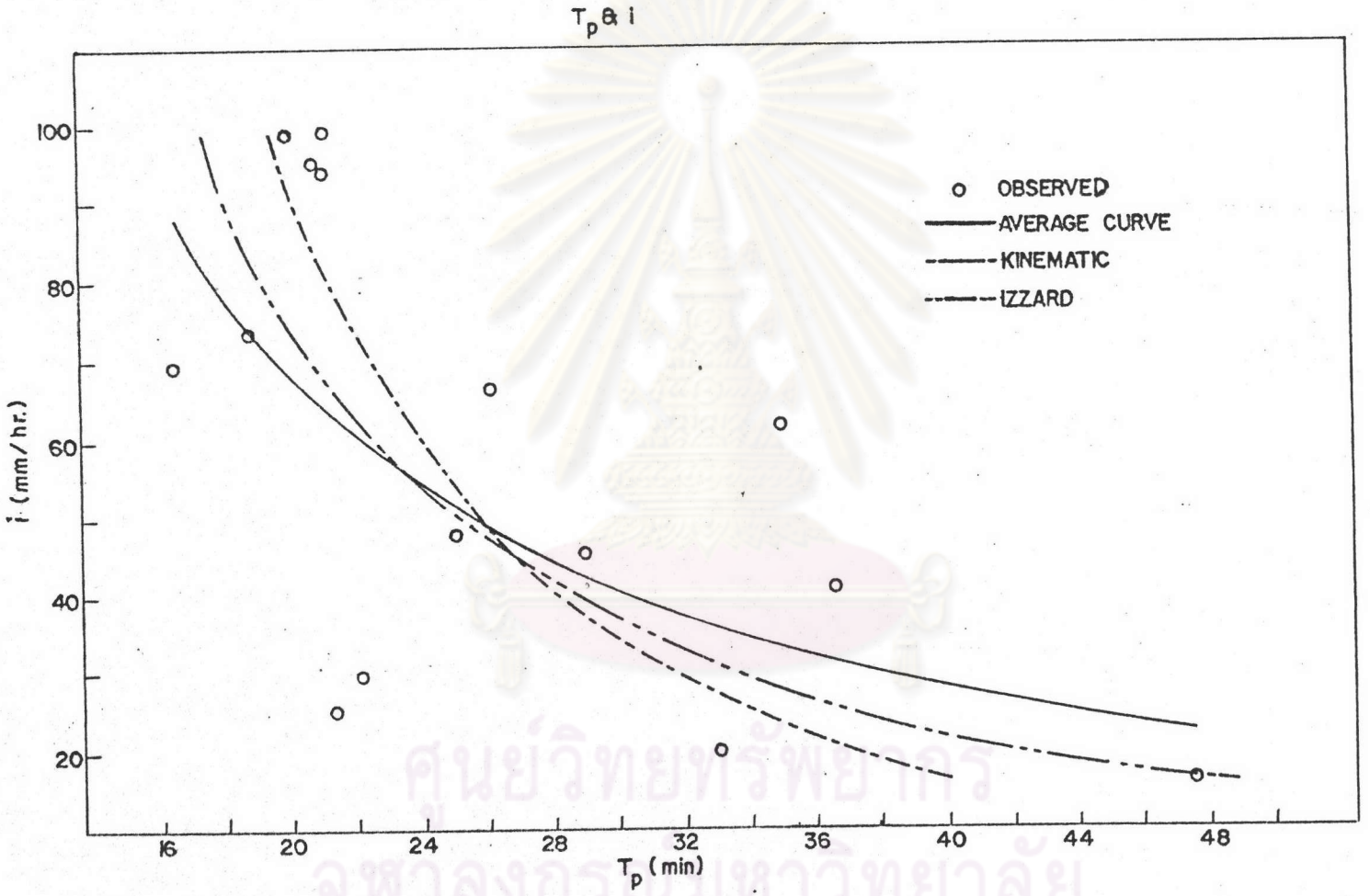
* ค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักด้วยความเข้มฝน

** ค่าเฉลี่ยโดยน้ำหนักจาก 60% impervious, n = 0.02 และ 40% pervious, n =0.35

4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลอัตราการซึม

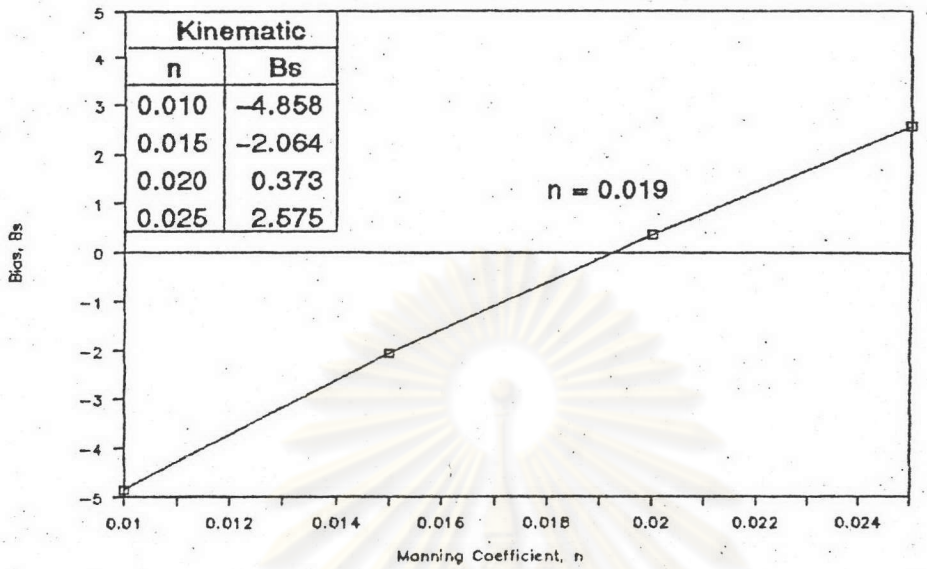
การทดลองหาค่าอัตราการซึมในสนามภายในพื้นที่ทดลองเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ปรับเทียบแบบจำลอง ได้ทำการทดลองไว้ 2 แห่ง คือพื้นที่รับน้ำย่อยหมายเลข 20205 และหมายเลข 20208 ตำแหน่งทดลองแสดงดังในรูปที่ 3-10 ตามลักษณะความแตกต่างของพื้นที่ผิวดิน จากข้อมูลที่ทดลองได้นำมาวิเคราะห์หาสมการเชิงถดถอย (regression) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามสมการหาค่าอัตราการซึมวิธีของ ฮอร์ตัน ดังกล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลของข้อมูลค่าอัตราการซึมที่ได้จากการทดลองในแต่ละพื้นที่และนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการซึมค่ามาตรฐาน ดังนี้

จากผลการทดลองหาค่าอัตราการซึมในพื้นที่บริเวณสนามหญ้า ด้านทิศใต้ของตึก 1 คณะอักษรศาสตร์ (พื้นที่รับน้ำย่อยหมายเลข 20208, ตำแหน่งที่ 1) นำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการซึมมาตรฐาน ดังในตารางที่ 4-5 และรูปที่ 4-7 จะเห็นว่าค่าอัตราการซึมเริ่มต้นมีค่าค่อนข้างสูงมากมีค่าเท่ากับ 623.50 มิลลิเมตร/ชั่วโมง และจะลดเป็นเส้นโค้งลาดลงแบบเอกโพเนนเชียลอย่างรวดเร็วในช่วง 10 นาทีแรก แล้วอัตราการลดลงของค่าอัตราการซึมจะค่อย ๆ ลดลงในช่วง

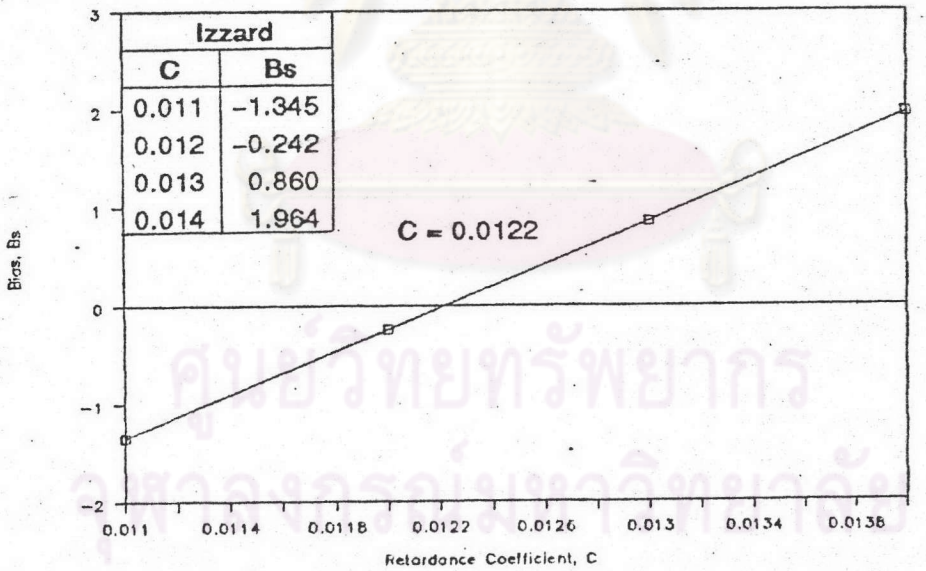


รูปที่ 4-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาน้ำหลากสูงสุดกับความเข้มฝน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-5 กราฟหาค่า n ที่เหมาะสมของสูตร Kinematic



รูปที่ 4-6 กราฟหาค่า c ที่เหมาะสมของสูตร Izzard

$$\text{โดยที่ } Bs = \frac{\hat{T}p - Tp}{Tp}$$

$\hat{T}p$ = ค่าเวลาน้ำหลากสูงสุดหาได้จากสูตร

10-40 นาที และตั้งแต่เวลา 40 นาที ค่าอัตราการซึมเริ่มคงที่เท่ากับ 28.36 มิลลิเมตร/ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกราฟของค่าอัตราการซึมจากการทดลองดังกล่าวกับกราฟค่าอัตราการซึมมาตรฐาน จะเห็นว่าค่าอัตราการซึมจากการทดลองในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูงกว่าทุกเส้นกราฟของค่ามาตรฐาน และจะมีอัตราการลดลงอย่างรวดเร็วกว่าจนถึงเวลาที่ 40 นาที ขณะที่จากกราฟมาตรฐานค่าอัตราการซึมจะเริ่มคงที่ที่ 60 นาที หรือเวลาผ่านไปประมาณ 1 ชั่วโมง และค่าอัตราการซึมคงที่ก็มีค่ามากกว่าค่าอัตราการซึมคงที่ของกราฟมาตรฐาน ซึ่งกราฟมาตรฐานค่าอัตราการซึมคงที่สำหรับพื้นที่ที่เป็นดินทราย (sandy soil area, high rate curve) มีค่าเท่ากับ 17.53 มิลลิเมตร/ชั่วโมง ลักษณะดังกล่าวเนื่องจากดินบริเวณพื้นที่ที่ทดลองเป็นดินปนทรายถมที่ ลักษณะดินค่อนข้างร่วน ค่าความพรุน (porosity) ของดินมีมาก ดังนั้น จึงทำให้ค่าอัตราการซึมมีค่าค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามกราฟของอัตราการซึมก็ยังคงเป็นไปตามสมการของฮอร์ตัน ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สามารถนำไปใช้ในแบบจำลอง SWMM สำหรับพื้นที่ศึกษาได้

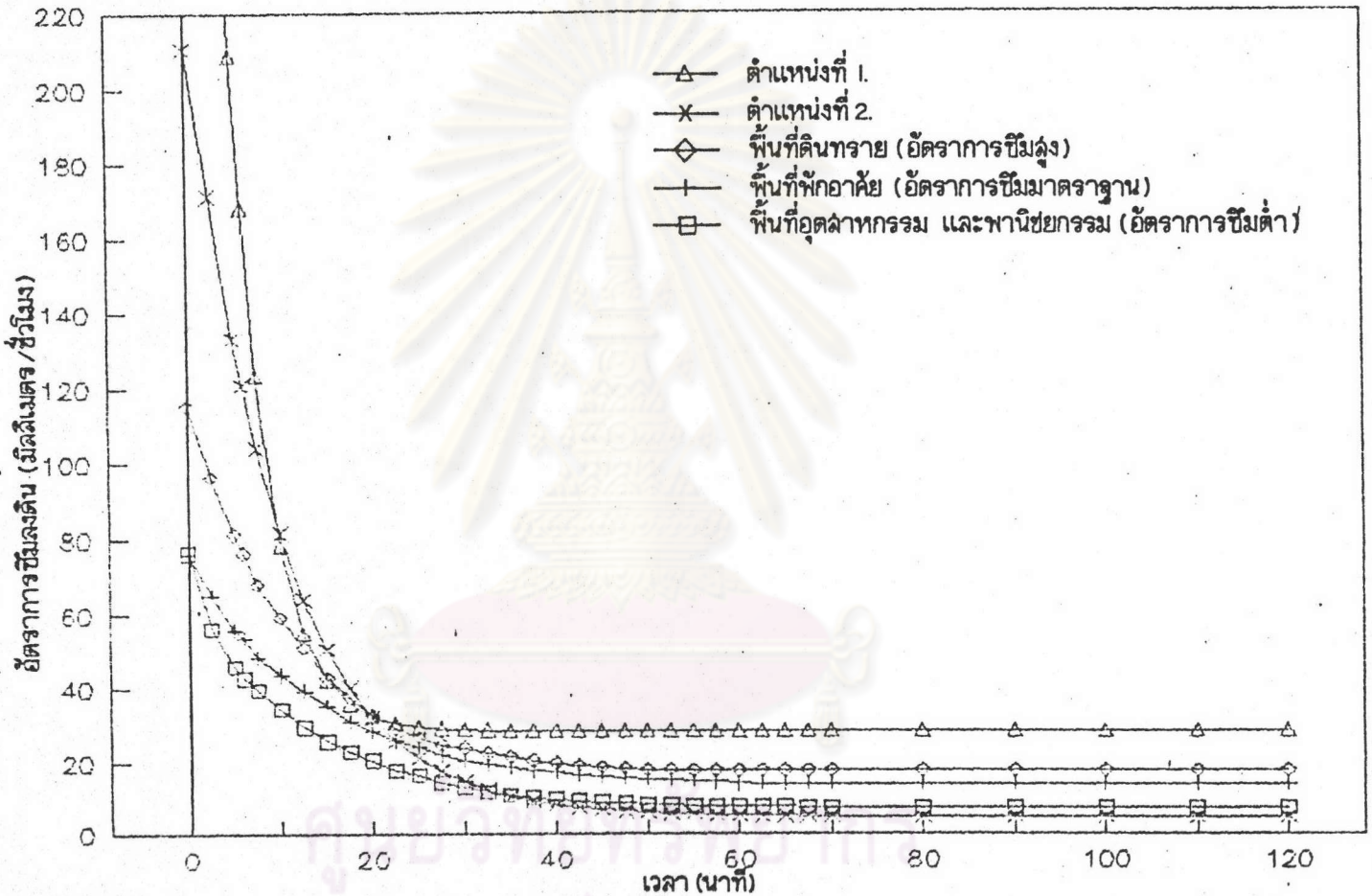
จากผลการทดลองหาค่าอัตราการซึมในพื้นที่บริเวณสนามหญ้าด้านทิศใต้ของหอประชุมกลาง (พื้นที่รับน้ำย่อยหมายเลข 20205, ตำแหน่งที่ 2) ดังค่าเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ดังในตารางที่ 4-5 และกราฟในรูปที่ 4-7 ได้ค่าอัตราการซึมเริ่มต้นประมาณ 210.63 มิลลิเมตร/ชั่วโมง และค่าอัตราการซึมจะค่อย ๆ ลดลงแบบเอกโพเนนเชียล เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงที่เวลาประมาณ 70 นาที ค่าอัตราการซึมจึงเริ่มคงที่มีค่าประมาณ 4.86 มิลลิเมตร/ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกราฟของค่าอัตราการซึมจากการทดลองกับกราฟค่าอัตราการซึมมาตรฐาน จะเห็นว่าค่าอัตราการซึมเริ่มต้นมีค่าสูงกว่าค่าอัตราการซึมของทุกลักษณะพื้นที่ของอัตราการซึม แต่ค่าอัตราการซึมเริ่มจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 70 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับกราฟมาตรฐาน แต่มีค่าอัตราการซึมคงที่ที่มีค่าน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามกราฟของค่าอัตราการซึมก็ยังคงสอดคล้องกับสมการของฮอร์ตัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าอัตราการซึมของทั้งสองพื้นที่ทดลอง จะเห็นว่าค่าอัตราการซึมของพื้นที่บริเวณหอประชุมกลาง จะให้ค่าที่น้อยกว่าและเวลาที่เริ่มจะเกิดอัตราการซึมคงที่ก็นานกว่า ลักษณะดังกล่าวเนื่องจากพื้นดินบริเวณสนามหญ้า ข้างหอประชุมกลางเป็นดินถมมีเนื้อค่อนข้างแน่น (สังเกตุจากการตอกถังวัดอัตราการซึมซึ่งตอกลงยากและสังเกตุจากลักษณะดิน) และพื้นที่บริเวณนี้เป็นสนามดังนั้นจึงมีการถูกบดอัดมาก การอัดตัวของเม็ดดินจึงมีมากกว่าและค่าความพรุนมีน้อย ดังนั้นค่าอัตราการซึมจึงน้อยกว่าพื้นดินบริเวณสนามหญ้าข้างตึก 1 คณะอักษรศาสตร์

จากความแตกต่างของกราฟอัตราการซึมของทั้งสองพื้นที่ดังกล่าว ที่แสดงให้เห็นอย่างเด่นชัด จึงได้จำแนกลักษณะพื้นที่รับน้ำย่อย ออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะการซึมน้ำของดิน เพื่อเป็นข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของสมการอัตราการซึมของฮอร์ตัน ที่จะนำไปใช้เป็นคุณสมบัติของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยสำหรับแบบจำลอง โดยการพิจารณาแยกตามลักษณะพื้นดินดังได้กล่าวไว้แล้ว และข้อมูลค่าอัตราการซึมของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยจะแสดงไว้ในหัวข้อการปรับเทียบแบบจำลองต่อไป

ตารางที่ 4-5 ค่าอัตราการซึมของพื้นที่ทดลองและค่ามาตรฐาน

time	standard infiltration			measurement	
(min)	industrial and commercial area (mm/hr)	residential area (mm/hr)	sandy soil area (mm/hr)	sample No.1 (mm/hr)	sample No.2 (mm/hr)
0.0	76.20	76.20	115.01	623.50	210.63
2.5	55.88	65.02	96.01	371.38	171.18
5.0	45.72	55.63	81.00	208.87	133.23
6.0	42.67	53.34	76.20	167.98	120.60
7.5	39.37	48.26	68.07	123.34	103.94
10.0	34.29	43.43	58.93	78.34	81.33
12.5	29.46	39.12	50.80	54.66	63.88
15.0	25.65	35.05	42.67	42.19	50.41
17.5	22.86	30.73	37.34	35.63	40.02
20.0	20.32	28.45	32.51	32.18	32.00
22.5	17.78	25.65	28.96	30.37	25.81
25.0	16.26	24.13	26.67	29.41	21.03
27.5	14.22	21.84	24.64	28.91	17.34
30.0	12.95	20.32	23.88	28.64	14.49
32.5	11.68	19.56	22.10	28.50	12.29
35.0	10.92	18.54	21.34	28.43	10.60
37.5	10.16	17.78	20.32	28.39	9.29
40.0	9.65	17.27	19.56	28.37	8.28
42.5	9.40	16.51	19.05	28.36	7.50
45.0	8.89	16.00	18.54	28.36	6.90
47.5	8.64	15.49	18.03	28.35	6.43
50.0	8.38	15.24	17.78	28.35	6.07
52.5	8.13	14.99	17.78	28.35	5.80
55.0	7.87	14.73	17.53	28.35	5.58
57.5	7.62	14.48	17.53	28.35	5.42
60.0	7.62	14.22	17.53	28.35	5.29
62.5	7.62	13.97	17.53	28.35	5.19
65.0	7.62	13.97	17.53	28.35	5.12
67.5	7.37	13.97	17.53	28.35	5.06
70.0	7.37	13.97	17.53	28.35	5.01
80.0	7.37	13.97	17.53	28.35	4.91
90.0	7.37	13.97	17.53	28.35	4.88
100.0	7.37	13.97	17.53	28.35	4.87
110.0	7.37	13.97	17.53	28.35	4.86
120.0	7.37	13.97	17.53	28.35	4.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-7 กราฟเปรียบเทียบอัตราการซึมของพื้นที่ทดลองกับค่ามาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การปรับเทียบแบบจำลอง (model calibration)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำแบบจำลอง SWMM (Runoff Block และ Extran Block) มาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ศึกษา โดยจะทำการปรับเทียบแบบจำลองกับพื้นที่ทดลองด้วยข้อมูลวัดจริงในสนาม ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาเงื่อนไขเฉลี่ยของพื้นที่ และได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสม ทำให้ค่าแตกต่างระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลอง (model output) กับข้อมูลวัดจริงในสนาม (measured field) นั้นมีค่าน้อยที่สุด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีดังนี้ ใน Runoff Block คือ ค่าความลึกเก็บกัก (depression storage depth, d_p) ค่าความกว้างการไหลตามผิว (characteristic width, w) และค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง (Manning's coefficient, n) ของพื้นที่ทึบน้ำ (impervious area) และพื้นที่น้ำซึมผ่านได้ (pervious area) ส่วนใน Extran Block คือ ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง, n ของท่อ/รางระบายน้ำ โดยจะกล่าวรายละเอียดถึง ลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นที่ทดลอง ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่นำมาใช้ในการปรับเทียบ ขั้นตอนการปรับเทียบ การวิเคราะห์ผลการปรับเทียบและเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และทำการตรวจสอบผลที่ได้จากการปรับเทียบกับเหตุการณ์ฝนอื่น ๆ

4.2.1 ลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นที่ทดลอง

ขอบเขตของพื้นที่ทดลอง ดังรูปที่ 4-8 ซึ่งมีขอบเขต ดังนี้

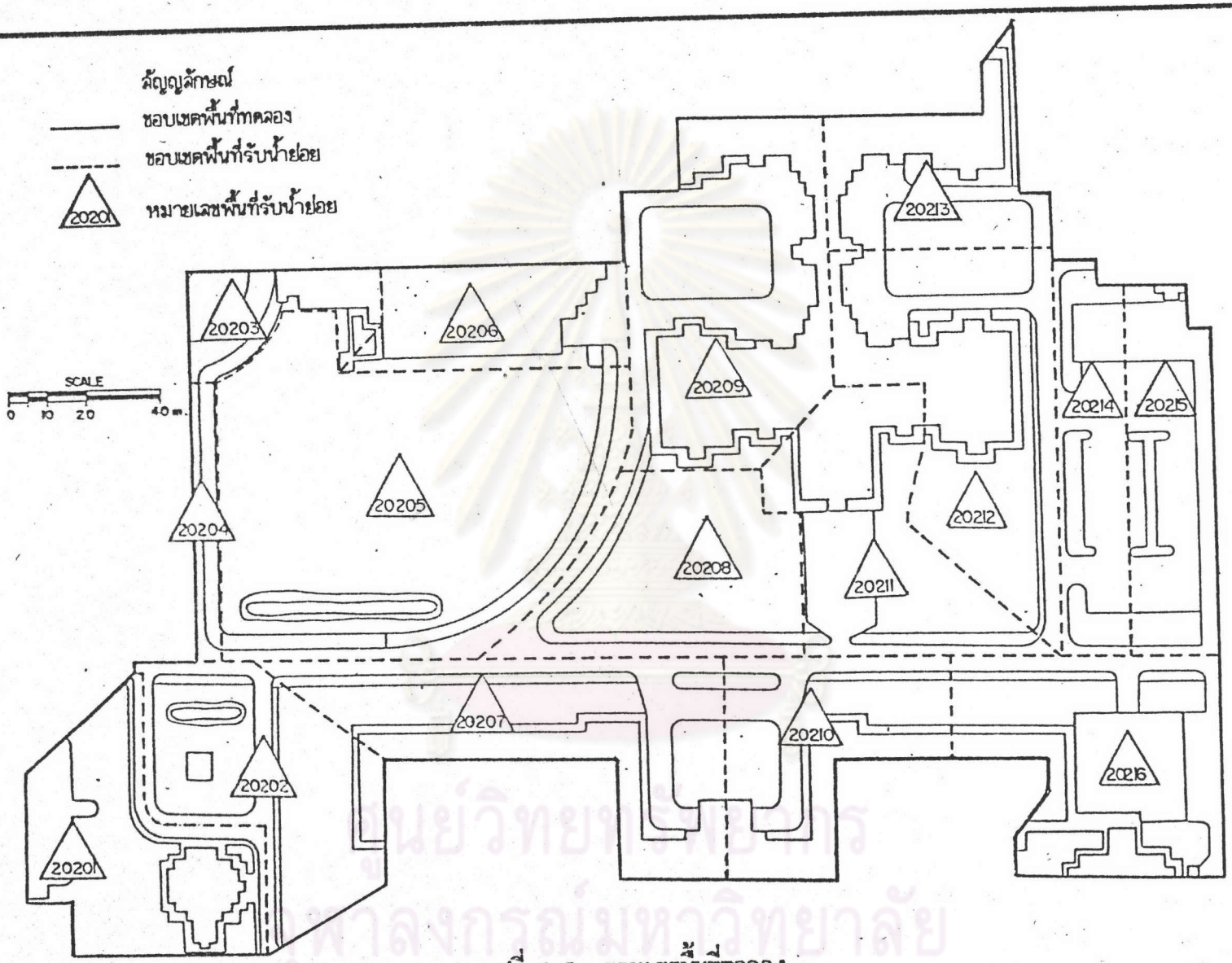
ทิศเหนือ	จรด	หอประชุมกลางและคณะอักษรศาสตร์ฝั่งใต้
ทิศใต้	จรด	คณะวิศวกรรมศาสตร์ ตึก 3
ทิศตะวันออก	จรด	หอประชุมกลาง
ทิศตะวันตก	จรด	รั้วฝั่งถนนอังรีดูนังต์

ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ของพื้นที่ ดังนี้

ขนาดพื้นที่	46,638 ตารางเมตร (11.53 เอเคอร์, 29.15 ไร่)
พื้นที่ทึบน้ำ (impervious area)	60 เปอร์เซนต์
ค่าเฉลี่ยความลาดของพื้นที่	0.0035 เมตร/เมตร
ความยาวของท่อ/รางระบายน้ำทั้งหมด	905 เมตร
ค่าระดับเฉลี่ยของพื้นที่	0.90 เมตร (รทก.)

ท่อระบายน้ำหลักของพื้นที่มีอยู่ 2 แนว ซึ่งขนานไปตามถนนหน้าตึก 3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยจะไปบรรจบกันที่บริเวณข้างโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์แล้วไหลออกไปสู่อุโมงค์ระบายน้ำอังรีดูนังต์ของกรุงเทพมหานคร

ในการแบ่งพื้นที่รับน้ำย่อย (subcatchment area) นั้นจะพิจารณาจากแผนที่ 1:500 โดยอาศัยหลักเกณฑ์การแบ่งจากคุณสมบัติของพื้นที่ คือ ระดับความลาดเอียงของพื้นที่ แนวถนน ขอบ



รูปที่ 4-8 ขอบเขตพื้นที่ทดลอง

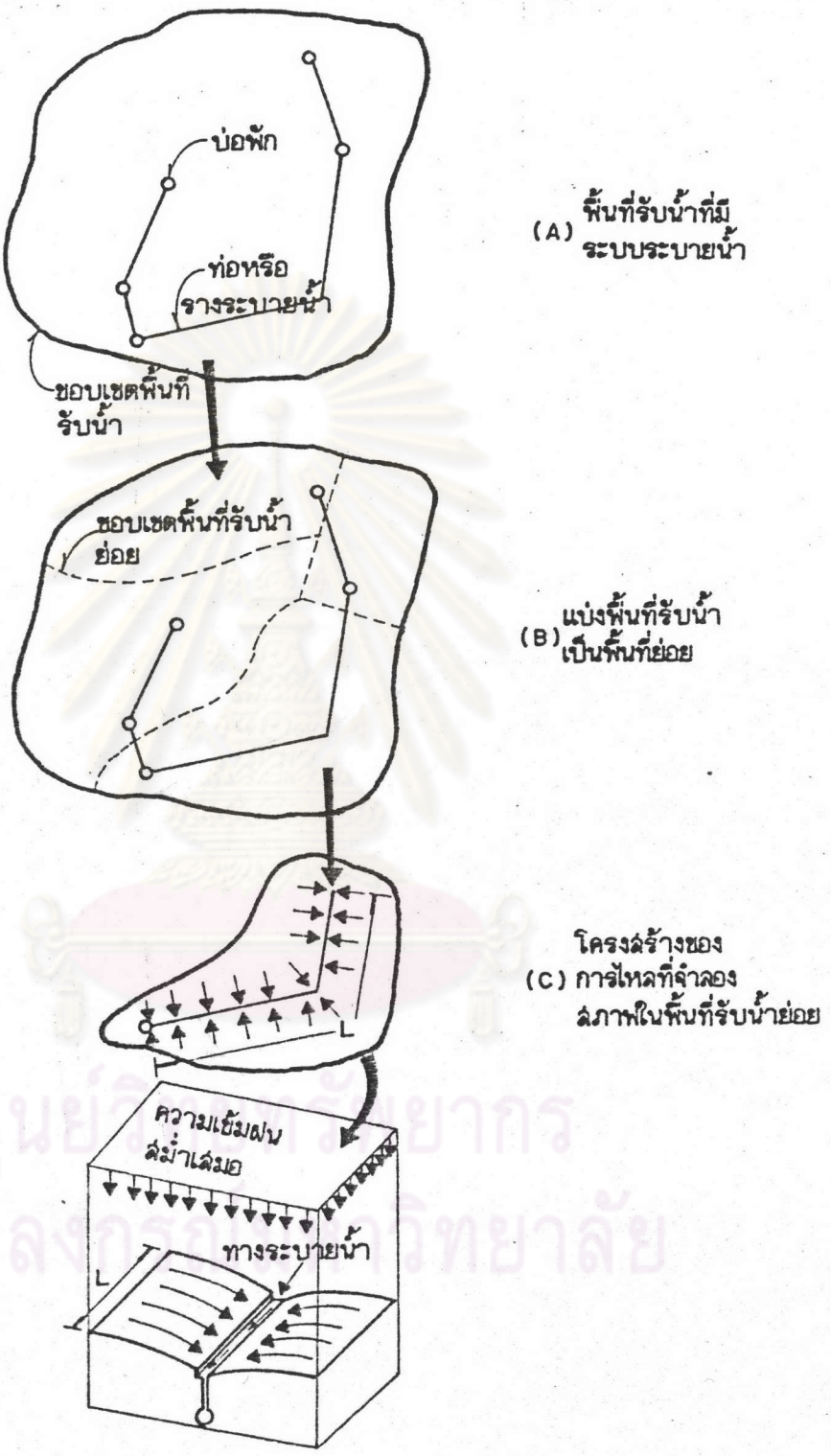
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนน ความทึบน้ำของพื้นที่ จุดที่น้ำไหลเข้าท่อ/รางระบายน้ำหลัก ซึ่งสามารถแบ่งเป็นพื้นที่รับน้ำย่อยได้ 16 พื้นที่ย่อย ดังรูปที่ 4-8 | คุณสมบัติของพื้นที่รับน้ำย่อยดังในตารางที่ 3-2 สำหรับค่าความกว้างของการไหลตามผิว (characteristic width overland flow, w) ของพื้นที่รับน้ำย่อยในการจำลองสภาพตามสมมุติฐานของแบบจำลอง SWMM ดังรูปที่ 4-9 จะถือว่ารางระบายน้ำของพื้นที่รับน้ำย่อยความยาวเท่ากับ L อยู่ตรงกลางของพื้นที่รับน้ำย่อย ซึ่งน้ำท่าจากฝนจะไหลลงรางระบายน้ำทั้งสองข้าง จึงกำหนดให้ความกว้างของการไหลตามผิวของพื้นที่รับน้ำย่อยมีค่าเป็นสองเท่าของความยาวท่อ (W = 2L) ในการศึกษานี้ เนื่องจากพื้นที่รับน้ำย่อยของพื้นที่ทดลองโดยส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานดังกล่าวและบางพื้นที่รับน้ำย่อยไม่มีรางระบายน้ำที่รับน้ำจากพื้นที่ ซึ่งการไหลของน้ำท่าตามผิวจะไหลลงท่อระบายน้ำหลักได้เฉพาะที่บ่อพัก หรือช่องบนฝารางระบายน้ำเท่านั้น ดังนั้น ในการศึกษานี้การหาความกว้างของระนาบการไหลของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยเริ่มแรกจะสมมุติฐานให้เป็นดังรูปที่ 4-10 คือ ถือว่าความกว้างของการไหลตามผิวมีค่าเท่ากับความยาวของท่อระบายน้ำที่จะรับน้ำจากพื้นที่ย่อยนั้น มีความกว้างเท่ากับ W

ส่วนการแบ่งระบบท่อ/รางระบายน้ำ ตามวิธี link-node จะพิจารณาจากคุณสมบัติตำแหน่งที่น้ำไหลเข้าทางระบายน้ำ จุดเชื่อมท่อ/ราง ขนาดท่อ/ราง ระดับก้นท่อ/ราง ซึ่งสามารถแบ่งจำนวน link ได้ 19 link จำนวน link ได้ 20 หน่วย โดยตำแหน่งและทิศทางการไหลดังรูปที่ 4-11 สำหรับคุณสมบัติของ link-node ดังแสดงในตารางที่ 3-3 ถึง 3-4 และคุณสมบัติต่าง ๆ ของพื้นที่ทดลอง ดังสรุปไว้ในตารางที่ 4-6

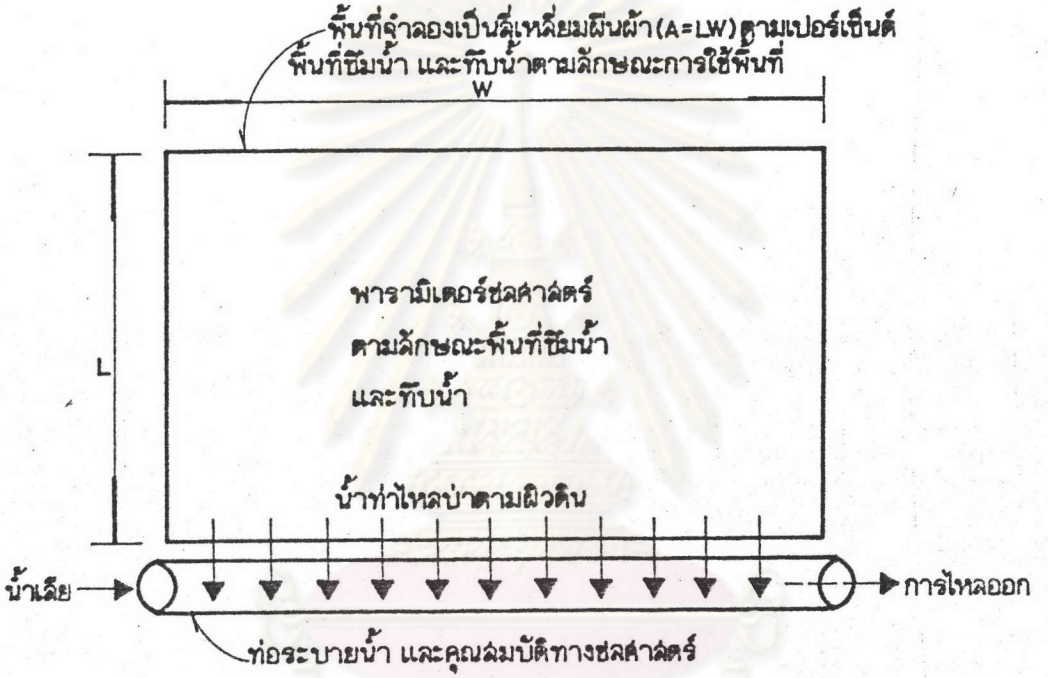
ตารางที่ 4-6 สรุปคุณสมบัติของพื้นที่รับน้ำย่อยและ link-node

คุณสมบัติ	ขนาด	หน่วย
จำนวนพื้นที่รับน้ำย่อย	16	พื้นที่
ขนาดพื้นที่รับน้ำย่อย	334-4584	ตารางเมตร
เปอร์เซนต์พื้นที่ทึบน้ำ	17.3-100.0	เปอร์เซนต์
ความลาดชัน	0.0010-0.052	เมตร/เมตร
ความกว้างการไหล (characteristic width)	8.0-55.0	เมตร
จำนวน link	19	link
ความยาว	6.0-100.0	เมตร
ความกว้างท่อ/ราง	0.40-0.50	เมตร
จำนวน node	20	node
ระดับพื้นดินหลัง node	0.59-0.96	เมตร (รทก.)
ระดับก้นท่อ/ราง	0.50-(-0.89)	เมตร (รทก.)



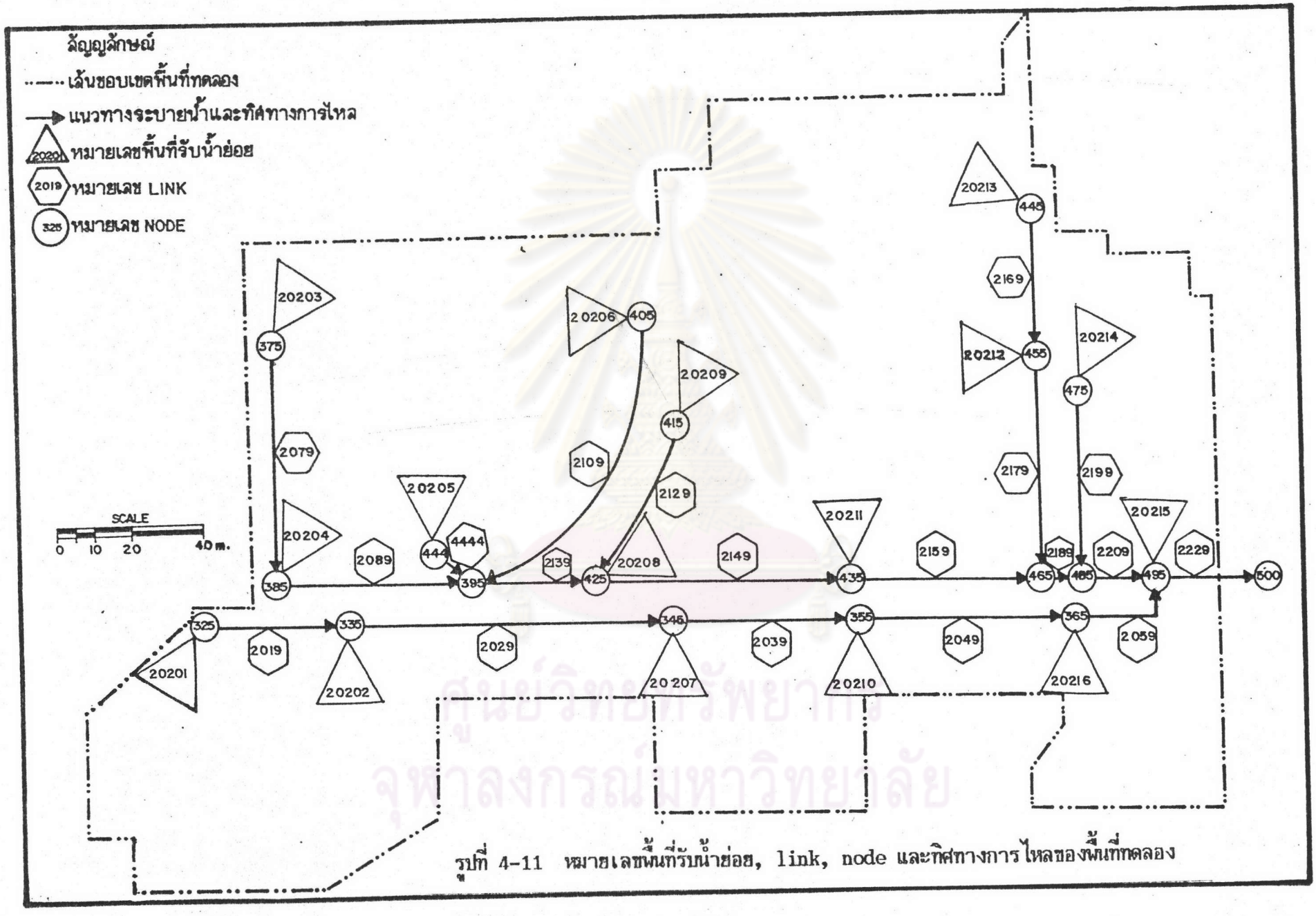
รูปที่ 4-9 โครงสร้างจำลองสภาพการไหลหลากตามผิวของพื้นที่รับน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-10 สมมุติฐานความกว้างการไหลตามผิวของพื้นที่รับน้ำย่อยในการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-11 หมายเลขพื้นที่รับน้ำย่อย, link, node และทิศทางการไหลของพื้นที่ทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 ข้อมูลอุทกวิทยาและชลศาสตร์ในสนามที่ใช้ปรับเทียบแบบจำลอง

จากข้อมูลทางอุทกวิทยาทั้งหมดที่วัดในสนามดังแสดงค่าในตารางที่ 3-6 และ 3-7 และภาคผนวก ก. ได้ทำการเลือกข้อมูลที่มีความเหมาะสมและสมบูรณ์ทั้งค่าปริมาณฝน และข้อมูลระดับน้ำและอัตราการไหลที่แสดงค่าจุดสูงสุดให้เห็นเด่นชัด ได้จำนวน 8 เหตุการณ์ ดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลเหตุการณ์ฝนที่ใช้ปรับเทียบแบบจำลอง

ลำดับที่	ข้อมูลเหตุการณ์ฝน	ปริมาณฝนรวม (มม.)	ช่วงเวลาฝนตก (นาที)	ความเข้มฝนสูงสุดช่วง 5 นาที (มม./ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำท่า (มม.)	สัมประสิทธิ์น้ำท่า (%)
1	18-JUL-88 21:33	53	130	96	21.49	40.55
2	30-JUL-88 15:45	45	120	216	29.89	66.42
3	10-AUG-88 23:10	22	30	144	15.24	69.26
4	30-AUG-88 00:18	54	235	84	20.20	37.42
5	14-SEP-88 21:02	51	75	108	19.41	38.06
6	16-SEP-88 02:30	30	45	156	10.65	35.51
7	17-SEP-88 12:00	36	50	192	15.53	43.15
8	17-OCT-88 18:08	31	390	132	16.93	54.62

สำหรับข้อมูลค่าอัตราการซึมลงดินของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อย ได้แบ่งไว้ 2 ลักษณะดังกล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ซึ่งตารางที่ 4-8 ได้สรุปค่าพารามิเตอร์ตามสมการของฮอร์ตัน ของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-8 ค่าพารามิเตอร์อัตราการซึมลงดินของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อย

หมายเลขพื้นที่	ค่าอัตราการซึมเริ่มต้น(fo) (มม./ชม.)	ค่าอัตราการซึมคงที่(fc) (มม./ชม.)	อัตราชี้กำลังของความสูญเสียอัตรา(k) การซึม (นาที)$^{-1}$
20201	22.04	0.49	-0.104
20202	22.04	0.49	-0.104
20203	22.04	0.49	-0.104
20204	22.04	0.49	-0.104
20205	22.04	0.49	-0.104
20206	22.04	0.49	-0.104
20207	22.04	0.49	-0.104
20208	68.02	2.84	-0.257
20209	68.02	2.84	-0.257
20210	22.04	0.49	-0.104
20211	68.02	2.84	-0.257
20212	68.02	2.84	-0.257
20213	68.02	2.84	-0.257
20214	68.02	2.84	-0.257
20215	68.02	2.84	-0.257
20216	22.04	0.49	-0.104

ส่วนข้อมูลค่าการระเหยจะใช้ค่าจากสถานีกรมอุตุนิยมวิทยาสุขุมวิท ดังในตารางที่ 3-1 ซึ่งแสดงค่าอัตราการระเหยรายเดือน (มม./เดือน) เนื่องจากในสภาวะการเกิดเหตุการณ์ฝนในเขตเมืองค่าการระเหยจะมีผลกระทบน้อยมากต่อสภาพการระบายน้ำ โดยที่ค่าอัตราการระเหยในแบบจำลอง SWMM ได้กำหนดค่ามาตรฐาน (default) ในแบบจำลอง SWMM ให้มีค่าเท่ากับ 2.54 มิลลิเมตร/วัน ในการศึกษานี้จะใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราการระเหยทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.877 มิลลิเมตร/วัน มีค่าเท่ากันทุกเดือน ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่กำหนดโดยแบบจำลอง (default) ดังตารางที่ 4-9 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งที่แนะนำโดยแบบจำลอง SWMM ดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-9 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กำหนดให้โดยแบบจำลอง (default parameter)

พารามิเตอร์	ค่ากำหนด	
	หน่วยเมตริก	หน่วยอังกฤษ
เปอร์เซ็นต์พื้นที่ทึบน้ำ (impervious area) ทั้งหมด	25.0 เปอร์เซ็นต์	25.0 เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์พื้นที่ทึบน้ำของพื้นที่รับน้ำย่อย	0.001 เปอร์เซ็นต์	0.001 เปอร์เซ็นต์
ความลาดชันของพื้นที่รับน้ำย่อย	0.300 เมตร/เมตร	0.300 ฟุต/ฟุต
ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง		
- พื้นที่ทึบน้ำ	0.013	0.013
- พื้นที่ซึมน้ำ	0.250	0.250
ค่าความลึกเก็บกัก (depression storage)		
- พื้นที่ทึบน้ำ	1.575 มิลลิเมตร	0.062 นิ้ว
- พื้นที่ซึมน้ำ	4.674 มิลลิเมตร	0.184 นิ้ว
ค่าอัตราการซึมเริ่มต้น	76.2 มิลลิเมตร/ชั่วโมง	3.00 นิ้ว/ชั่วโมง
ค่าอัตราการซึมคงที่	13.21 มิลลิเมตร/ชั่วโมง	0.52 นิ้ว/ชั่วโมง
ค่าอัตราชี้กำลังการสูญเสียอัตราการซึม	0.00115 นาที$^{-1}$	0.00115 นาที$^{-1}$
ค่าอัตราการระเหย	2.54 มิลลิเมตร/วัน	0.1 นิ้ว/วัน
ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ	0.015	0.015

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งที่แนะนำในแบบจำลอง SWMM

Ground Cover	Manning's n for Overland Flow
Smooth asphalt	0.012
Asptalt or concrete paving	0.014
Packed clay	0.03
Light turf	0.02
Dense turf	0.35
Dense shrubbery and forest litter	0.40

ที่มา : N.H. Gawford and R.K.Linsley, "Digital Simulation in Hydrology, Stanford Watershed Model IV"

4.2.3 วิธีการและขั้นตอนการปรับเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง

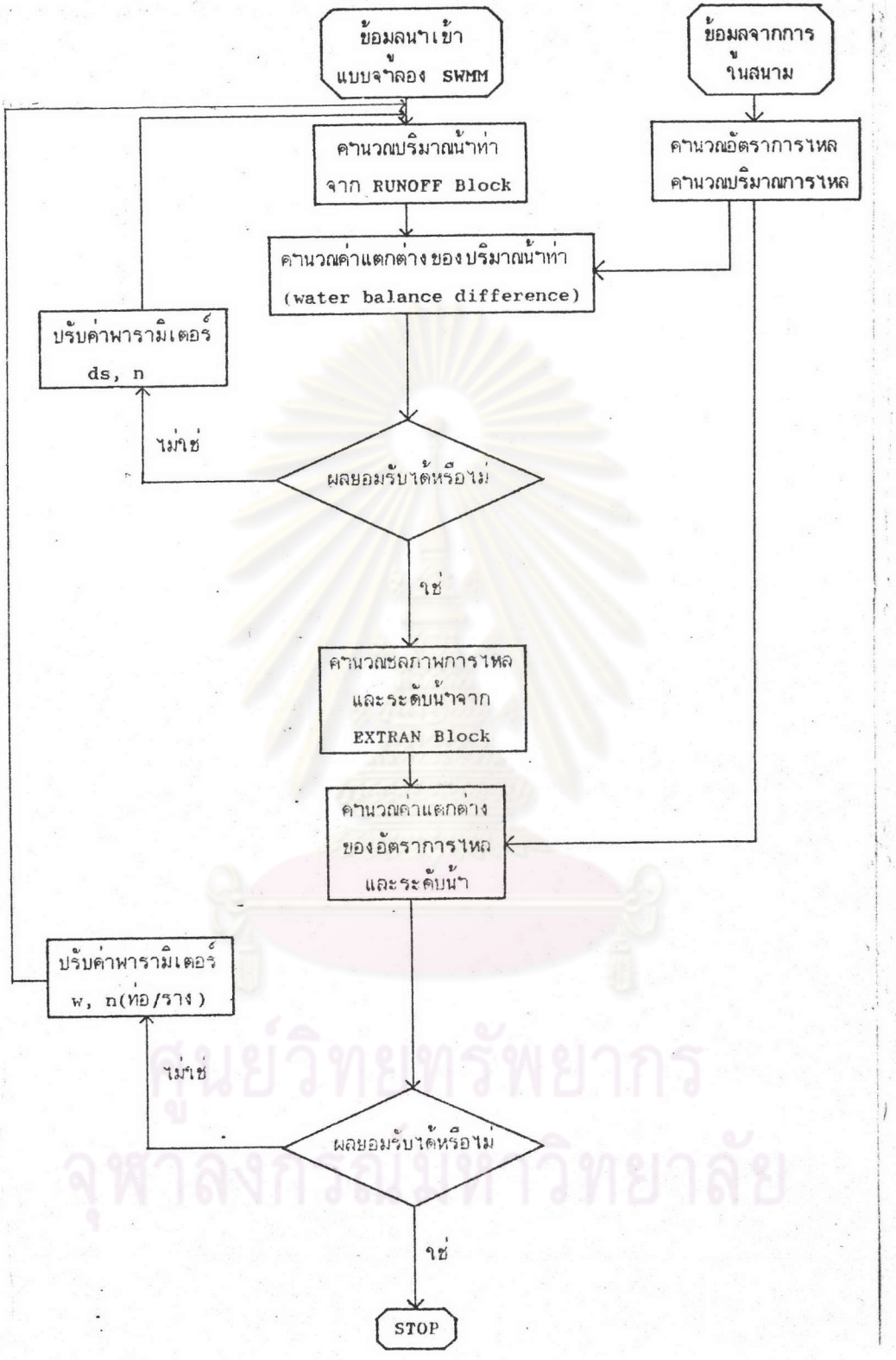
แบบจำลอง SWMM ที่ใช้ศึกษาได้ใช้แบบจำลองย่อย 2 แบบจำลอง คือ RUNOFF Block และ EXTRAN Block ซึ่งใน RUNOFF Block จะคำนวณการไหลบ่าไปตามผิวดิน (overland flow) ของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อย โดยใช้ข้อมูลนำเข้าอุทกวิทยา คือ แผนภูมิฝน (hyetograph) คุณสมบัติของพื้นที่รับน้ำย่อย ได้แก่ ขนาดพื้นที่รับน้ำย่อย ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ทึบน้ำ ค่าความลึกเก็บกัก (depression storage) (ทั้งพื้นที่ทึบน้ำและซึมน้ำ) ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง (ทั้งพื้นที่ทึบน้ำและซึมน้ำ) ค่าพารามิเตอร์อัตราการซึม ค่าความกว้างการไหลของพื้นที่ (characteristic width) โดยให้ผลลัพธ์ที่ได้คือ ปริมาณน้ำที่ซึมลงดิน (infiltration) ปริมาณน้ำที่ระเหย (evaporation) ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่ระบบระบายน้ำ (subcatchment flow at inlet) ปริมาณน้ำที่ค้างอยู่บนผิวดิน (water remaining in surface storage) และชลภาพ (hydrograph) ของแต่ละจุดของพื้นที่รับน้ำย่อย จากผลที่ได้คือ ชลภาพของแต่ละพื้นที่ย่อย จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าทางชลศาสตร์ของ EXTRAN Block และต้องการข้อมูลคุณสมบัติของระบบท่อ/รางระบายน้ำ คือ ชนิด ขนาด ความยาว (length) ค่าระดับหลัง node (ground elevation) ค่าระดับก้น node (invent elevation) และค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง รวมทั้งอาคารและอุปกรณ์ควบคุมน้ำต่าง ๆ เช่น ฝาย เครื่องสูบน้ำ รูระบายน้ำ (orifice) บ่อเก็บกักน้ำ (storage) ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปชลภาพและระดับน้ำ ณ จุดที่ต้องการ

ในการปรับเทียบแบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาเงื่อนไขเฉลี่ยต่าง ๆ ของพื้นที่ที่ทำให้ผลที่ได้จากแบบจำลองนั้น ตรงกับ (agreement) ข้อมูลวัดจริงในสนาม โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าระบบระบายน้ำ (water flow at inlet) ชลภาพ ระดับน้ำ เวลาถึงจุดไหลออกสูงสุด (time to peak) ณ จุดที่ทำการวัดมีค่าตรงกัน เนื่องจากเหตุการณ์ฝนทั้งหมดมี 8 เหตุการณ์ โดยที่แต่ละเหตุการณ์นี้เป็นอิสระ ดังนั้น ในระหว่างการปรับเทียบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละเหตุการณ์จึงอาจทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไม่ตรงกัน แต่โดยการวิเคราะห์ทางสถิติและดูจากสภาพพื้นที่ศึกษาจริงนำมาเป็นแนวทางการพิจารณาในการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

เนื่องจากแบบจำลอง SWMM (RUNOFF Block และ EXTRAN Block) จะจำลองสภาพทางอุทกวิทยาและชลศาสตร์อย่างต่อเนื่อง ในการปรับเทียบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแต่ละแบบจำลองที่เหมาะสม โดยทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าตรงกัน จะเป็นไปค่อนข้างลำบาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการปรับเทียบเป็นขั้นตอน คือ ในเบื้องต้นจะทำการปรับเทียบ RUNOFF Block ก่อนโดยการตรวจสอบค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าระบบระบายน้ำทั้งหมด กับข้อมูลวัดจริง เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากส่วน RUNOFF Block แล้ว จะนำมาใช้เพื่อปรับเทียบ EXTRAN Block ต่อไปโดยการตรวจสอบชลภาพ (hydrograph) และระดับน้ำ ณ จุดที่ทำการวัดในสนาม

สำหรับใน RUNOFF Block ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการไหล คือ ค่าเปอร์เซ็นต์พื้นที่ทึบน้ำ ค่าความลึกเก็บกักของพื้นที่ทึบน้ำ (impervious depression storage) ค่าความลึกเก็บกักของพื้นที่ซึมน้ำ (pervious depression storage) ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งทั้งของพื้นที่ทึบน้ำและซึมน้ำ ค่าความกว้างการไหลของพื้นที่ (characteristic width) ค่าพารามิเตอร์อัตราการซึม (fo, fc, k) เนื่องจากในการศึกษานี้ได้ทำการสำรวจและวัดค่าในพื้นที่ทดลองจริง ดังนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์ทึบน้ำ และค่าพารามิเตอร์อัตราการซึมจึงเป็นค่าที่กำหนดค่าได้ค่อนข้างแน่นอนในแบบจำลอง ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่เหลือจะเป็นค่าที่ทำการปรับเทียบ ส่วนในแบบจำลอง EXTRAN ค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการปรับเทียบ คือ ค่าความกว้างการไหลตามผิว และค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ ผังขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 4-12

ดังกล่าวข้างต้นเนื่องจากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมีหลายค่า ซึ่งแต่ละค่ามีความเป็นอิสระจึงทำให้เป็นการยากในการปรับเทียบ ดังนั้นก่อนการปรับเทียบจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ความไว (sensitivity Test) ของผลลัพธ์ที่ได้ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นจะคงที่ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงนี้จะอยู่ในช่วงค่ากลางที่ยอมรับ ในตารางที่ 4-11 จะแสดงผลการวิเคราะห์ความไว (sensitivity analysis) ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผู้ศึกษามา 3 ท่าน และใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการศึกษาปรับเทียบแบบจำลองค่าแตกต่างของผลความไวจากตารางนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของพื้นที่รับน้ำที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ความไวในการศึกษานี้ พบว่าค่าความลึกเก็บกักของพื้นที่ทึบน้ำ จะให้ความไวต่อปริมาณน้ำท่ามากที่สุด รองลงมาคือค่าความลึกเก็บกักของพื้นที่



รูปที่ 4-12 แผนผังขั้นตอนการปรับเทียบแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์ความไว (sensitivity analysis) ของค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	การศึกษาที่ผ่านมา *						ผลจากการศึกษา						
	Graham,et al.		Huber, et al.		Jewell				ระดับน้ำที่บ่อพัก M1 (node425)	ระดับน้ำที่จุดไหลออก (node500)	เวลาถึงจุดไหลออกสูงสุด	อัตราการไหลออกสูงสุด	ปริมาณน้ำที่จุดไหลออก
	ช่วง	ปริมาณน้ำท่า	ช่วง	ปริมาณน้ำท่า	ช่วง	ปริมาณน้ำท่า	ช่วง	ปริมาณน้ำท่า					
เปอร์เซ็นต์พื้นที่ไม่น้ำ	7:1	2.01:1	-	-	4:1	3.58:1	-	-	-	-	-	-	-
ค่าอัตราการซึมลงดินคงที่	1:10	1.82:1	1:150	1.75:1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ความกว้างการไหลตามผิว (characteristic width)	1:79	2.00:1	-	-	2:1	1.03:1	1:4	1:1.05	1:1.36	1:1.24	1.24:1	1:1.49	1:1.03
สัมประสิทธิ์แมนนิ่งของพื้นที่ไม่น้ำ	1:4	1.36:1	1:150	1.00:1	-	-	1:4	1.01:1	1.02:1	1.01:1	1.00:1	1.03:1	1.01:1
สัมประสิทธิ์แมนนิ่งของพื้นที่น้ำ	1:3	1.02:1	1:100	1.02:1	1:2.3	1.02:1	1:4	1.04:1	1.25:1	1.18:1	1:1.24	1.38:1	1.02:1
ความลึกเก็บกัก (depression storage) ของพื้นที่ไม่น้ำ	1:4	1.02:1	1:50	1.00:1	-	-	1:4	1.18:1	1.07:1	1.06:1	1:1.24	1.13:1	1.17:1
ความลึกเก็บกัก (depression storage) ของพื้นที่น้ำ	1:4	1.24:1	1:200	1.22:1	1:7	1.28:1	1:4	1.29:1	1.17:1	1.14:1	1:1.24	1.31:1	1.25:1
สัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ(EXTRAN MODEL)	-	-	-	-	-	-	1:4	-	1:1.53	1.06:1	1:1.00	1.50:1	1.05:1

หมายเหตุ : * ที่มา Thomas K.Jewell, et al., "Methodology for Calibrating Stormwater Model," Jr. of the Environmental Engineering Division, Vd.104, No. EE3, June, 1978.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื้มน้ำ ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ จะให้ผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำท่าน้อย ดังนั้นในการปรับเทียบจะใช้ค่าความลึกเก็บกักนี้เป็นค่าพารามิเตอร์หลักในการปรับปริมาณน้ำสมดุลย์ (water balance) จากผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลวัดจริงในสนาม ส่วนค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของการไหลตามผิวจะใช้ปรับความแตกต่างของปริมาณน้ำสมดุลย์ที่แตกต่างกันเล็กน้อยให้ได้ค่าที่ตรงกัน ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวทั้ง 4 ค่านี้เป็นพารามิเตอร์ในการปรับเทียบสำหรับ RUNOFF Block ส่วนใน EXTRAN Block จะทำการปรับเทียบค่าระดับน้ำที่บ่อพัก M1, และระดับน้ำที่จุดไหลออก อัตราการไหลสูงสุด, และเวลาถึงจุดไหลออกสูงสุด จากผลการวิเคราะห์ความไว ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/ราง ระบายน้ำจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่บ่อพัก M1 และที่จุดไหลออกมากที่สุด รองลงมาคือค่าความกว้างการไหลตามผิว และสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของพื้นที่ทึบน้ำสำหรับค่าเวลาถึงจุดไหลออกสูงสุดจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักตามการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ส่วนอัตราการไหลสูงสุดค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำและค่าความกว้างการไหลตามผิวจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วนความไวของปริมาณน้ำที่จุดไหลออกจะมีผลเช่นเดียวกับปริมาณน้ำท่าของ RUNOFF Block

4.2.4 การวิเคราะห์ผลการปรับเทียบและเลือกค่าพารามิเตอร์

ในการปรับเทียบเริ่มต้นจะใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่กำหนดค่า (default) โดยแบบจำลอง ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าปริมาณน้ำสมดุลย์และค่าอัตราการไหลสูงสุดมีค่าสูงกว่าค่าวัดในสนามมากทุกเหตุการณ์ ดังนั้นในการวิเคราะห์ขั้นต่อมาคือ การปรับค่าพารามิเตอร์ในส่วนของ RUNOFF BLOCK เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำท่าสมดุลย์ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าวัดจริง โดยทำการการปรับค่าความลึกเก็บกับ (depression storage) ซึ่งการปรับค่าในแต่ละครั้งจะดูผลที่ได้จากการปรับค่าที่ผ่านมาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับค่าต่อ ๆ ไป จนได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากผลการปรับค่าพารามิเตอร์ของเหตุการณ์ฝนทั้ง 8 เหตุการณ์ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จะให้ค่าความลึกเก็บกักแบ่งเป็น 2 กลุ่ม จากตารางที่ 4-12 กลุ่มที่หนึ่ง คือเหตุการณ์ลำดับที่ 1,2,3,4,และ 5 ซึ่งจะให้ค่าความลึกเก็บกักที่มากอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน คือค่าความลึกเก็บกักของพื้นที่ทึบน้ำ 24.44-43.69 มิลลิเมตร และค่าความลึกเก็บกักของพื้นที่ชื้มน้ำ 29.21-45.72 มิลลิเมตร ส่วนในกลุ่มที่สองจะให้ค่าความลึกเก็บกักที่ค่อนข้างน้อยกว่าเหตุการณ์ทั้ง 5 เหตุการณ์ข้างต้นมาก เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4-12 พบว่าทั้ง 3 เหตุการณ์หลัง มีค่าอัตราการไหลเริ่มต้น (base flow) มีค่าสูงนั่นคือปริมาณน้ำส่วนนี้จะไปรวมกันกับปริมาณน้ำท่าทำให้ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ามีค่าสูงดังข้อมูลในตารางที่ 4-7 ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความลึกเก็บกักจากการปรับเทียบที่ได้มีค่าต่ำ

จากผลการปรับเทียบทั้ง 5 เหตุการณ์ในกลุ่มที่หนึ่งพบว่าค่าความลึกเก็บกักตามผิวของพื้นที่ทึบน้ำ (เฉลี่ย 34.0 มิลลิเมตร) และค่าเก็บกักตามผิวของพื้นที่ชื้มน้ำ (เฉลี่ย 37.5 มิลลิเมตร) มีค่าใกล้เคียงกัน ผลดังกล่าวนี้อาจเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ทดลอง สำหรับพื้นที่ทึบน้ำ

ตารางที่ 4-12 ผลเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง RUNOFF Block กับค่าวัดจริง

ลำดับที่	เหตุการณ์	ปริมาณฝน (มม.)	ช่วงเวลาฝนตก (นาที)	ความเข้มฝนสูงสุดในช่วง 5 นาที	อัตราการไหลเริ่มต้น (ลิตร/วินาที)	ปริมาณน้ำท่า (ลบ.ม.)		% ของปริมาณแตกต่าง	อัตราส่วนแบบจำลองต่อค่าวัดจริง	หมายเหตุ
						วัดจริง	แบบจำลอง			
1	18-JUL-88	53	130	96	0.1	1002.25	1083.81	8.14	1.08	เหตุการณ์
2	16-SEP-88	30	45	156	0.0	496.85	480.44	-3.30	0.97	ปรับเทียบที่ค่า
3	17-SEP-88	36	50	192	0.0	724.97	611.67	-15.63	0.84	อัตราการไหล
4	30-AUG-88	54	235	84	0.8	942.32	1101.33	16.87	1.17	เริ่มต้นมีค่าน้อย
5	14-SEP-88	51	75	108	0.5	905.34	1038.91	14.75	1.15	
6	30-JUL-88	45	120	216	2.9	1393.92	850.39	-38.99	0.61	ค่าอัตราการ
7	10-AUG-88	22	30	144	3.9	564.21	346.05	-38.67	0.61	ไหลเริ่มต้นมี
8	17-OCT-88	31	390	132	7.6	789.76	484.59	-38.64	0.61	ค่าน้อย

หมายเหตุ : เหตุการณ์ที่ใช้ปรับเทียบในส่วน RUNOFF Block คือ เหตุการณ์ลำดับที่ 1, 2, 3, 4 และ 5

ค่าความลึกเก็บกักจากการปรับเทียบใน RUNOFF Block

สำหรับพื้นที่ทึบน้ำ 24.44-43.69 มม. (เฉลี่ย 34.0 มม.)

สำหรับพื้นที่ซึมน้ำ 29.21-45.72 มม. (เฉลี่ย 37.5 มม.)

ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของการไหลตามผิว

สำหรับพื้นที่ทึบน้ำ 0.050

สำหรับพื้นที่ซึมน้ำ 0.300

จะมีขอบถนนและทางเท้ากั้นโดยเฉพาะที่บริเวณหอประชุมกลางซึ่งเป็นพื้นที่ทึบน้ำ (6.23 % ของพื้นที่ทึบน้ำ) มีระดับค่อนข้างต่ำการไหลของน้ำเป็นไปได้ยาก และบริเวณลานจอดรถด้านหน้าโรงอาหาร วิศวกรรมศาสตร์ติดรั้วถนนอังรีดูนังต์(พื้นที่หมายเลข 20214 และ 20215, 9.94% ของพื้นที่ทึบน้ำ) มีลักษณะพื้นที่ตาดด้วยคอนกรีตบล็อคจึงเป็นลักษณะกึ่งทึบน้ำคือน้ำสามารถซึมผ่านได้บ้าง ซึ่งเป็นผลให้ค่าความลึกเก็บกักของพื้นที่ทึบน้ำและซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของการไหลตามผิวจากการวิเคราะห์ความไวจะให้ผลน้อยต่อผลลัพธ์ที่ได้ซึ่งจากการปรับเทียบของทุกเหตุการณ์ได้ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของพื้นที่ทึบน้ำเท่ากับ 0.050 และของพื้นที่ซึมน้ำเท่ากับ 0.30

เมื่อใช้ค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาใช้กับการจำลองสภาพของทุกเหตุการณ์ผลลัพธ์ที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับค่าวัดจริง ดังในตารางที่ 4-12 และรูปที่ 4-13 และรูปที่ 4-14 จะเห็นค่าแตกต่างของเหตุการณ์ทั้ง 5 ของกลุ่มที่หนึ่งให้ผลแตกต่างจากค่าจริงอยู่ในช่วง + 20% นับว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ส่วนเหตุการณ์ในกลุ่มที่สองจะให้ค่าแตกต่างน้อยกว่าค่าวัดจริงค่อนข้างมาก (~-39%) เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวแล้วข้างต้น

การปรับเทียบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมใน EXTRAN Block จะพิจารณาการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลออกสูงสุด, เวลาถึงจุดไหลออกสูงสุด, ปริมาณน้ำที่ไหลออก, ค่าระดับน้ำที่บ่อพัก M1 และที่จุดไหลออก เนื่องจากทั้ง 5 เหตุการณ์ที่ได้ผลจากการปรับเทียบจาก RUNOFF Block ดังตารางที่ 4-12 เหตุการณ์ลำดับที่ 1, 2, และ 3 เท่านั้นที่ใช้ในการปรับเทียบ ส่วนเหตุการณ์ที่เหลืออีก 2 เหตุการณ์คือลำดับที่ 4,5 มีเฉพาะค่าระดับน้ำที่จุดระบายออก จึงใช้เป็นเหตุการณ์สำหรับตรวจสอบแบบจำลอง (verified)

ในการปรับเทียบจะพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความไวของค่าพารามิเตอร์ต่อผลที่ได้เช่นเดียวกัน คือ สำหรับค่าอัตราการไหลออกสูงสุดและระดับน้ำที่จุดไหลออกจะลดลงเมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ แต่จะส่งผลให้ระดับน้ำที่บ่อพัก M1 เพิ่มขึ้น (ปริมาณการไหลเท่าเดิมแต่ความเร็วลดลงทำให้ระดับน้ำในระบบเพิ่มสูงขึ้น) ดังนั้นจึงทำการลดค่าความกว้างการไหลตามผิว (characterist width) โดยทดลองลดความกว้างลงทีละ 10% ซึ่งการปรับค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนี้จะทำโดยพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้ก่อนหน้านี้และความเหมาะสมตามเหตุผลพร้อม ๆ กับการตรวจสอบปริมาณน้ำที่จุดไหลออกและเวลาถึงจุดไหลออกสูงสุดด้วย การปรับค่าดังกล่าวจะทำจนกระทั่งผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลวัดจริง ซึ่งผลจากการปรับเทียบของทั้ง 3 เหตุการณ์ได้ค่าความกว้างการไหลตามผิวลดลงเหลือ 31.43%-53.10% (เฉลี่ย 42.26%) และค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ 0.025-0.050 (เฉลี่ย 0.0375) ค่าดังกล่าวไม่ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่า ใน RUNOFF Block เปลี่ยนแปลง

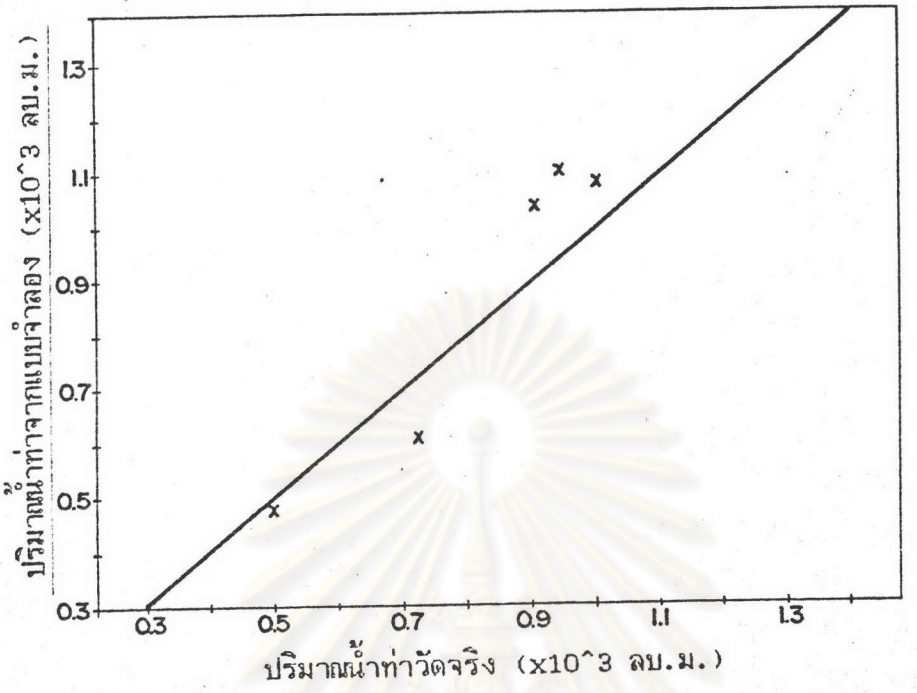
โดยนำค่าเฉลี่ยที่ได้นี้กลับมาใช้กับเหตุการณ์ทั้ง 3 เหตุการณ์ที่ใช้ปรับเทียบและใช้กับเหตุการณ์ที่ใช้ตรวจสอบทั้ง 2 เหตุการณ์ ผลที่ได้ดังในตารางที่ 4-13 และรูปที่ 4-15 ถึง 4-24 จะเป็นว่าผลที่ได้เกือบทั้งหมดมีความแตกต่างอยู่ในช่วง $\pm$20% ซึ่งจะมีบางค่าที่แตกต่างออกไปแต่โดยเหตุการณ์ส่วนใหญ่แล้วอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ผลของการเปรียบเทียบค่าจากแบบจำลองกับเหตุการณ์

ตารางที่ 4-13 เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

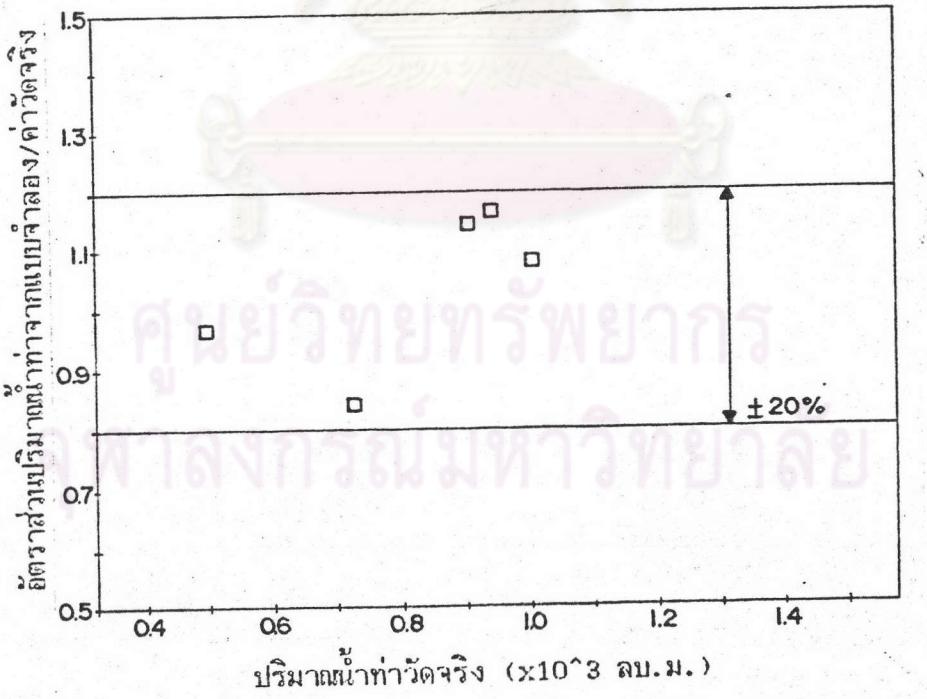
ลำดับที่	เหตุการณ์	ค่าวัดจริง					ค่าจากแบบจำลอง					อัตราส่วนค่าแบบจำลอง/ค่าวัดจริง					เปอร์เซ็นต์ค่าแตกต่าง				
		Qp	tp	ปริมาณน้ำ	ค่าระดับน้ำ		Qp	tp*	ปริมาณน้ำ	ค่าระดับน้ำ		Qp	tp	ปริมาณน้ำ	ค่าระดับน้ำ		Qp	tp	ปริมาณน้ำ	ค่าระดับน้ำ	
				ไหลออก	จุดไหลออก	ตำแหน่ง M1			ไหลออก	จุดไหลออก	ตำแหน่ง M1			ไหลออก	จุดไหลออก	ตำแหน่ง M1			ไหลออก	จุดไหลออก	ตำแหน่ง M!
		(ล./ว.)	(นาที)	(ลบ.ม.)	(ม.รทก.)	(ม.รทก.)	(ล./ว.)	(นาที)	(ลบ.ม.)	(ม.รทก.)	(ม.รทก.)		(นาที)								
	Calibrated																				
1	18-JUL-88	168.0	90	1002.25	0.320	0.405	161.53	80	812.75	0.299	0.512	0.96	0.89	0.81	0.93	1.26	-3.85	-11.11	-18.91	-6.56	26.42
2	16-SEP-88	91.0	30	496.85	0.204	0.316	95.78	35	468.01	0.204	0.326	1.05	1.17	0.94	1.00	1.03	5.25	16.67	-5.80	0.00	3.16
3	17-SEP-88	119.0	20	724.45	0.246	0.390	129.79	20	678.45	0.250	0.415	1.09	1.00	0.94	1.02	1.06	9.07	0.00	-6.35	1.63	6.41
	Verified																				
4	30-AUG-88	129.3	85	926.00	0.268	-	153.03	70	888.84	0.284	-	1.18	0.82	0.96	1.06	-	18.35	-17.65	-4.01	5.97	-
5	14-SEP-88	181.1	35	905.35	0.323	-	186.18	45	1058.28	0.311	-	1.03	1.28	1.31	0.96	-	2.80	28.57	16.89	-3.72	-

หมายเหตุ : เหตุการณ์ที่ใช้ปรับเทียบในส่วน EXTRAN Block คือ เหตุการณ์ลำดับที่ 1, 2, 3 ส่วนเหตุการณ์ลำดับที่ 4, 5 ใช้ในการตรวจสอบ
ค่าแฟคเตอร์ลดความกว้างการไหลตามผิว 31.43%-53.10% (เฉลี่ย 42.26%)
ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ 0.025-0.050 (เฉลี่ย 0.0375)
* ค่าเวลาถึงอัตราการไหลสูงสุดปรับค่าตามระดับน้ำที่จุดไหลออกเริ่มต้นให้มีค่าเท่ากัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

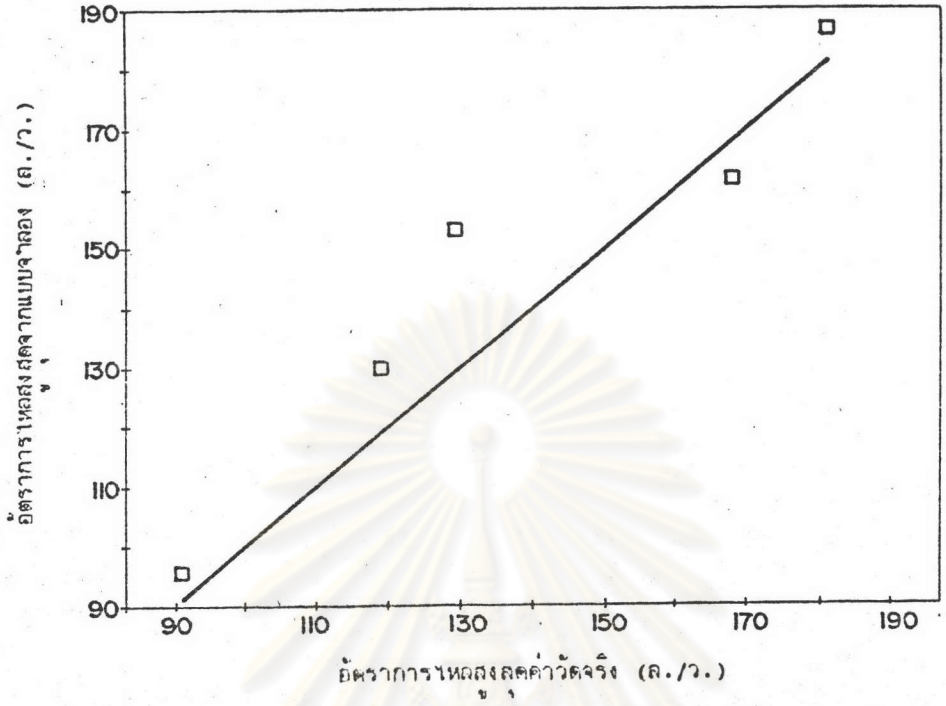


รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าวัดจริง (RUNOFF Block)

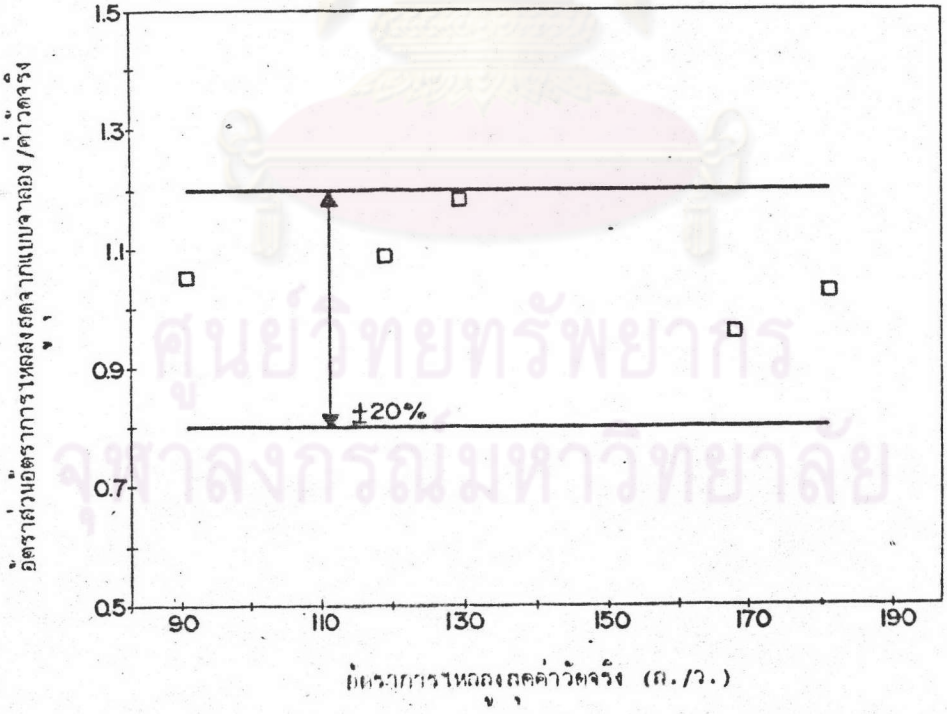


รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าวัดจริงกับอัตราส่วนปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง (RUNOFF Block)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

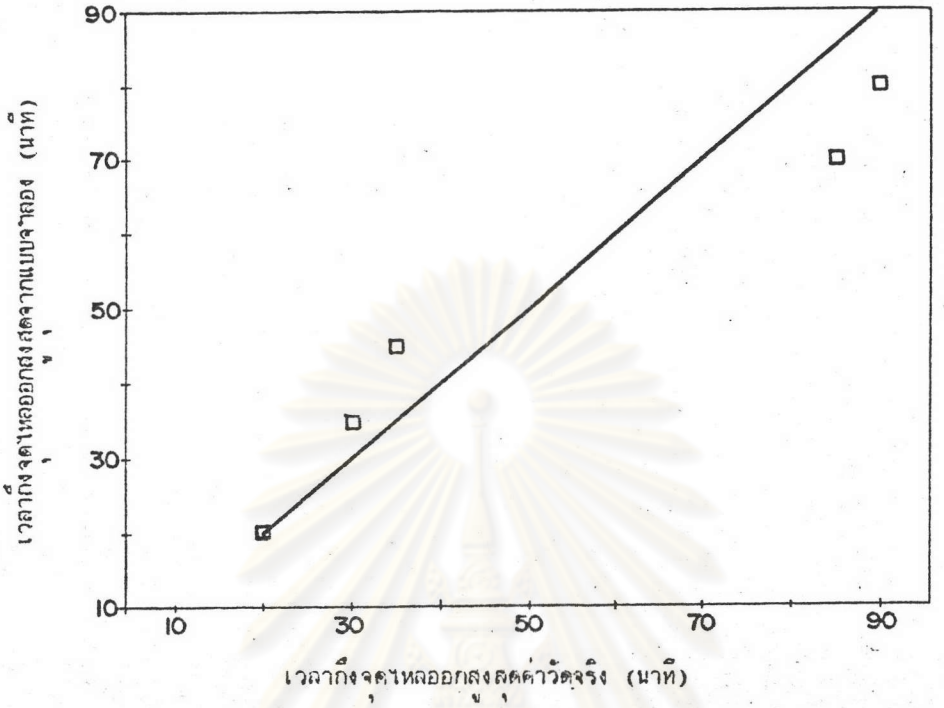


รูปที่ 4-15 เปรียบเทียบอัตราการไหลสูงสุดจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

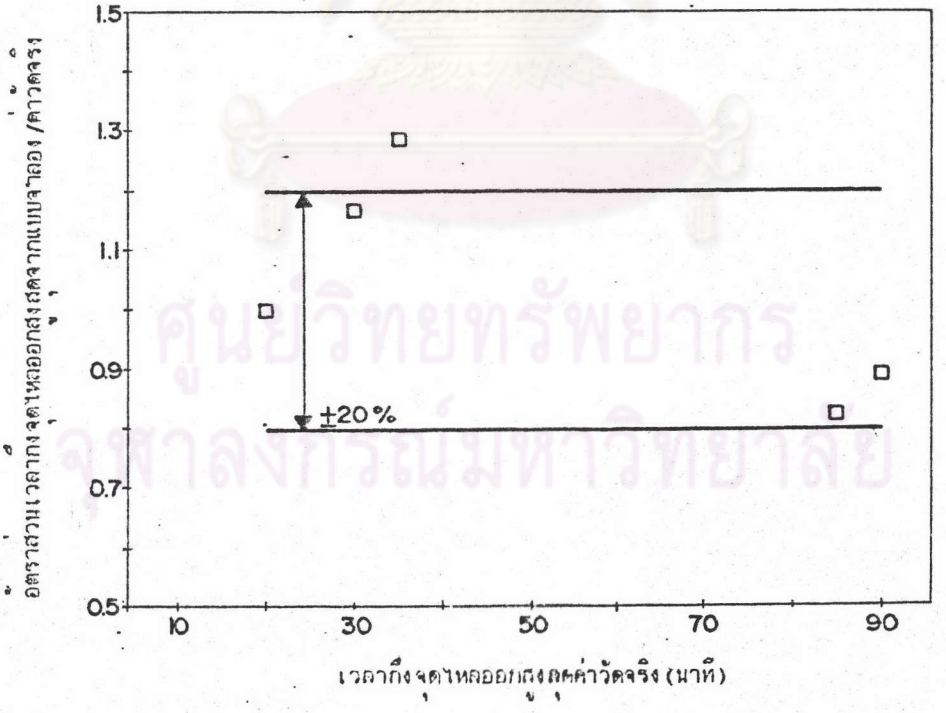


รูปที่ 4-16 เปรียบเทียบอัตราการไหลออกสูงสุดวัดจริงกับอัตราส่วนอัตราการไหลออกสูงสุดจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

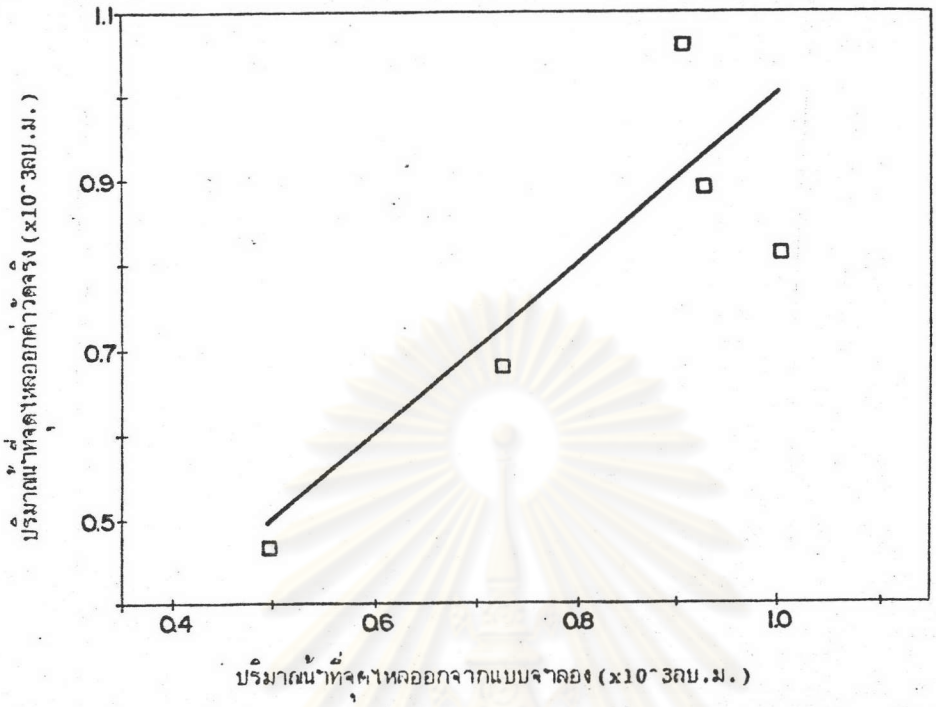


รูปที่ 4-17 เปรียบเทียบเวลาถึงจุดไหลออกสูงสุดจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

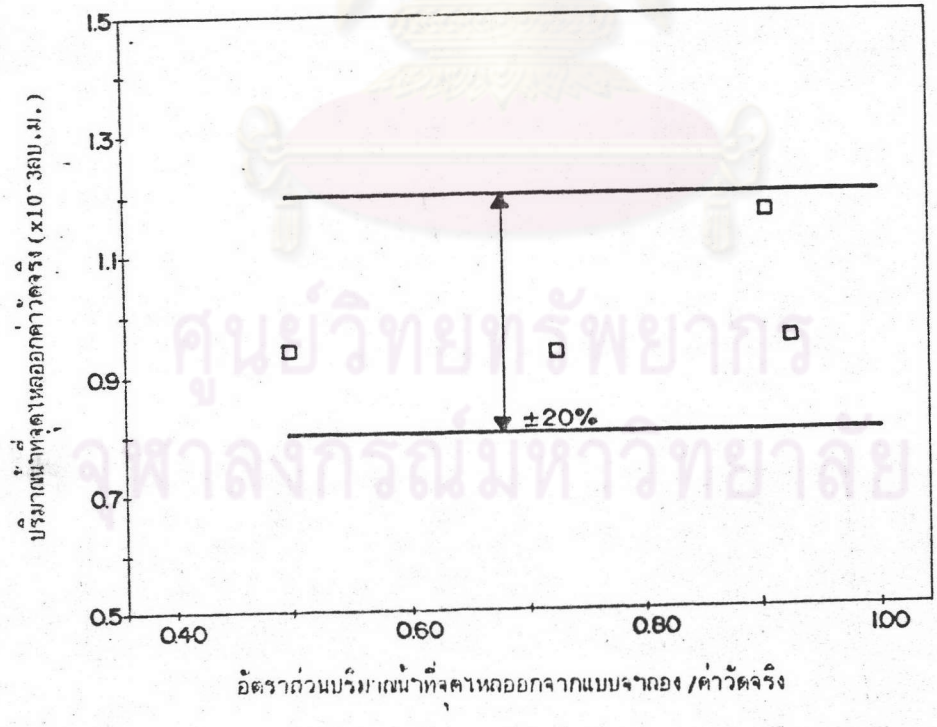


รูปที่ 4-18 เปรียบเทียบเวลาถึงจุดไหลออกสูงสุดวัดจริงกับอัตราส่วนเวลาถึงจุดไหลออกสูงสุดจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

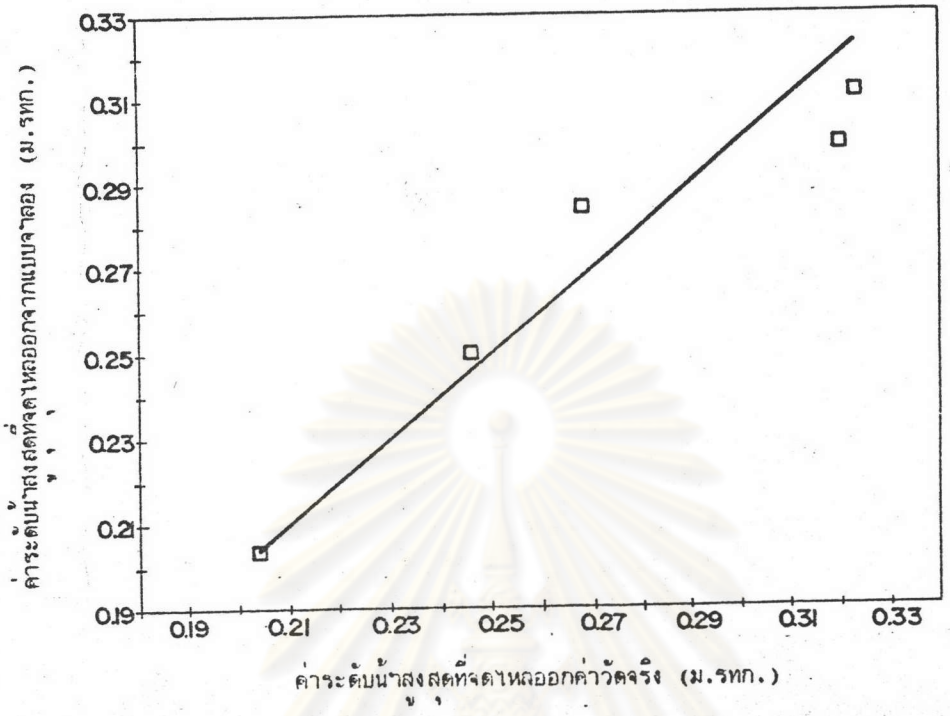


รูปที่ 4-19 เปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลออกจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

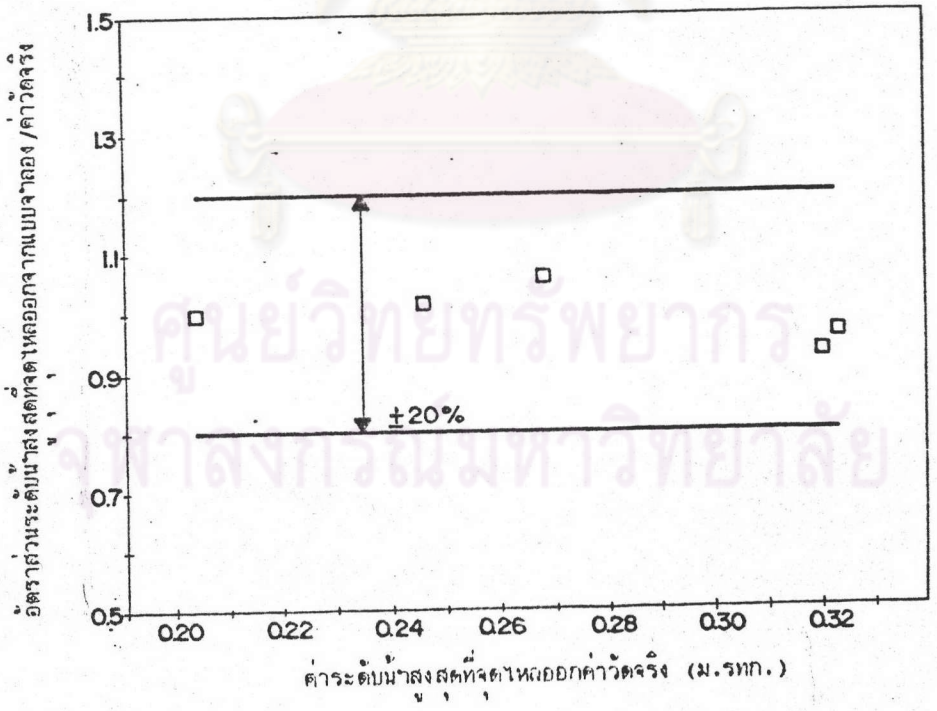


รูปที่ 4-20 เปรียบเทียบปริมาณน้ำไหลออกวัดจริง กับอัตราส่วนปริมาณน้ำไหลออกจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

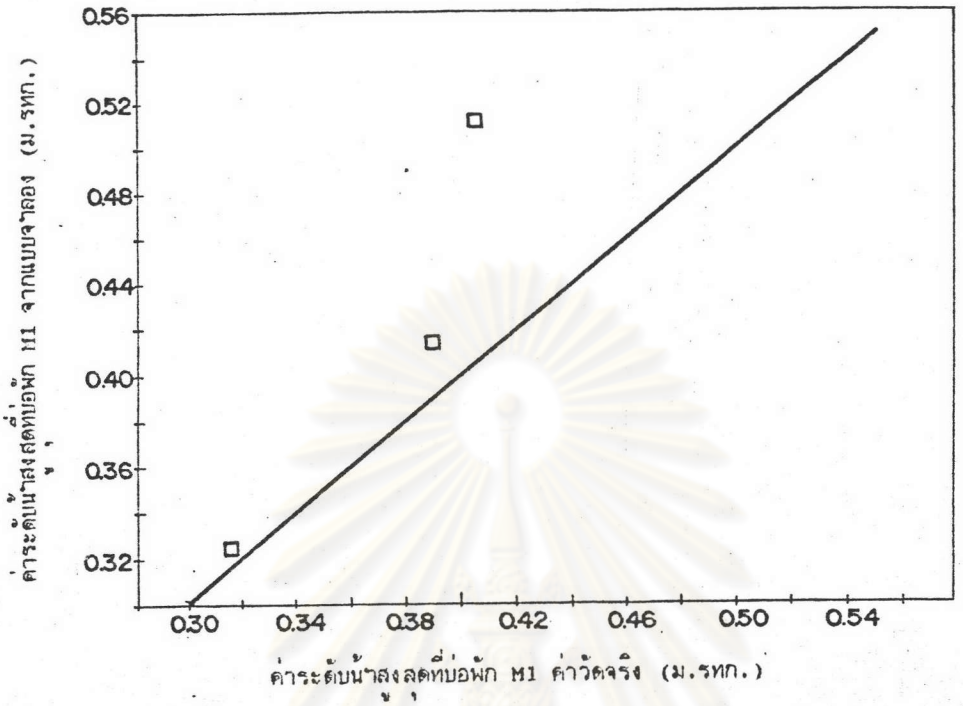


รูปที่ 4-21 เปรียบเทียบระดับน้ำที่จุดไหลออกจากแบบจำลอง กับค่าวัดจริง

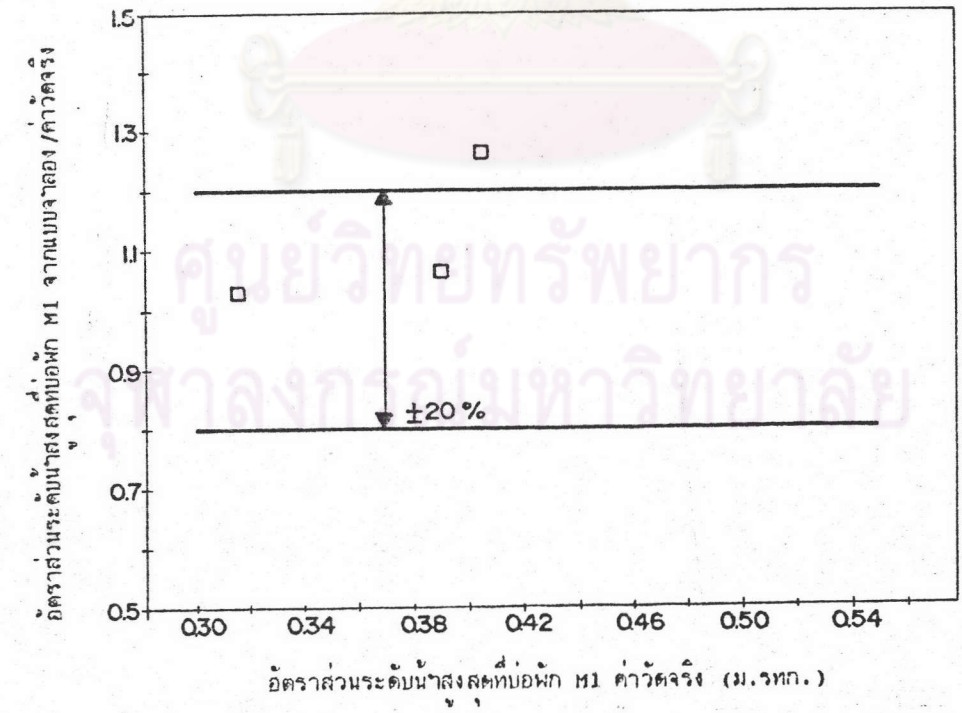


รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบระดับน้ำที่จุดไหลออกวัดจริง กับอัตราส่วน ระดับน้ำที่จุดไหลออกจากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-23 เปรียบเทียบระดับน้ำที่บ่อพัก M1 จากแบบจำลองกับค่าวัดจริง



รูปที่ 4-24 เปรียบเทียบระดับน้ำที่บ่อพัก M1 วัดจริงกับอัตราส่วนระดับน้ำที่บ่อพัก M1 จากแบบจำลองกับค่าวัดจริง

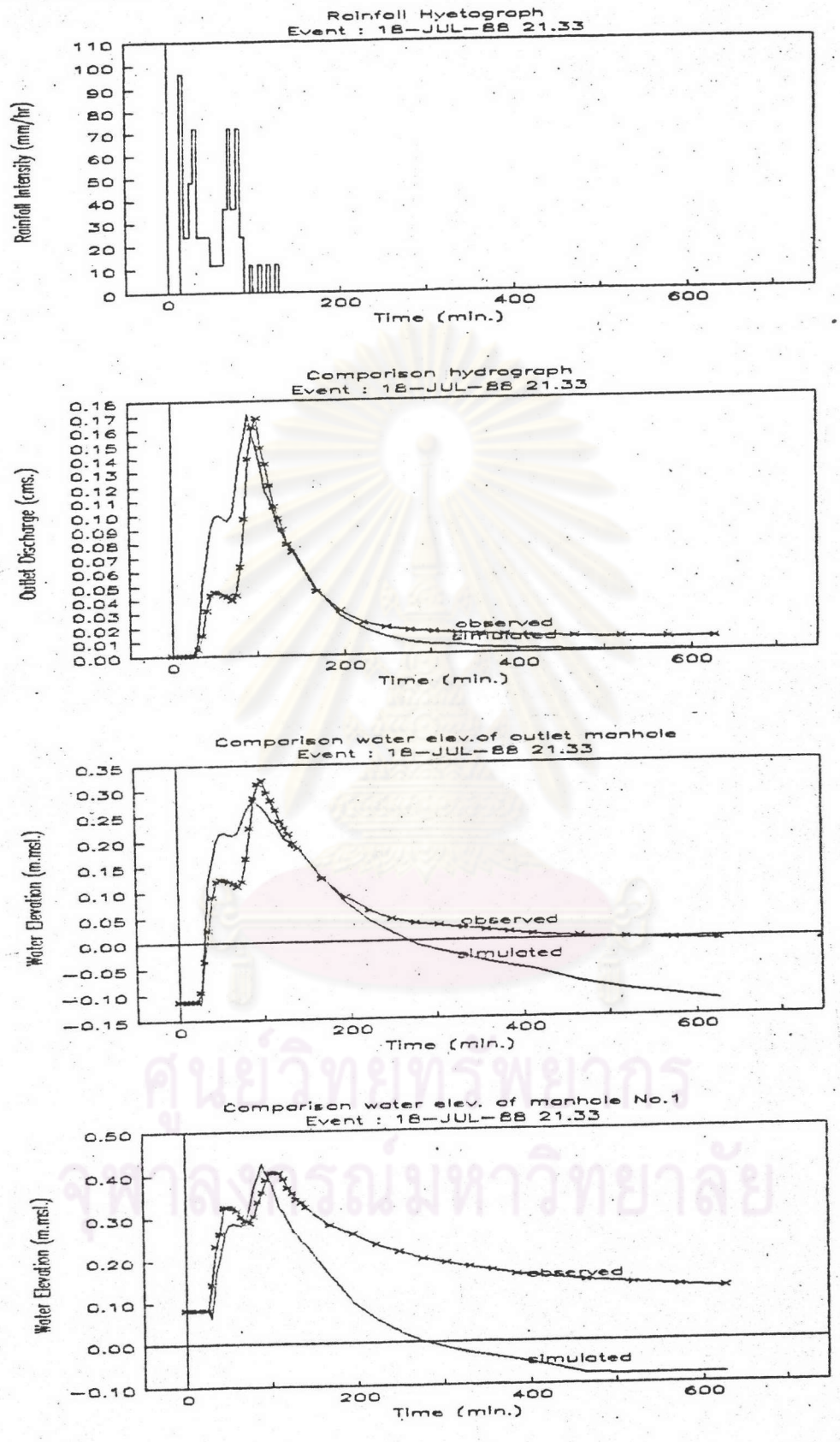
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลวัดจริงที่ใช้ปรับเทียบดังในรูปที่ 4-25 ถึง 4-27 และเหตุการณ์ที่ใช้ตรวจสอบแบบจำลองดังในรูปที่ 4-28 ถึง 4-29

4.3 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลในสนามและปรับเทียบแบบจำลอง

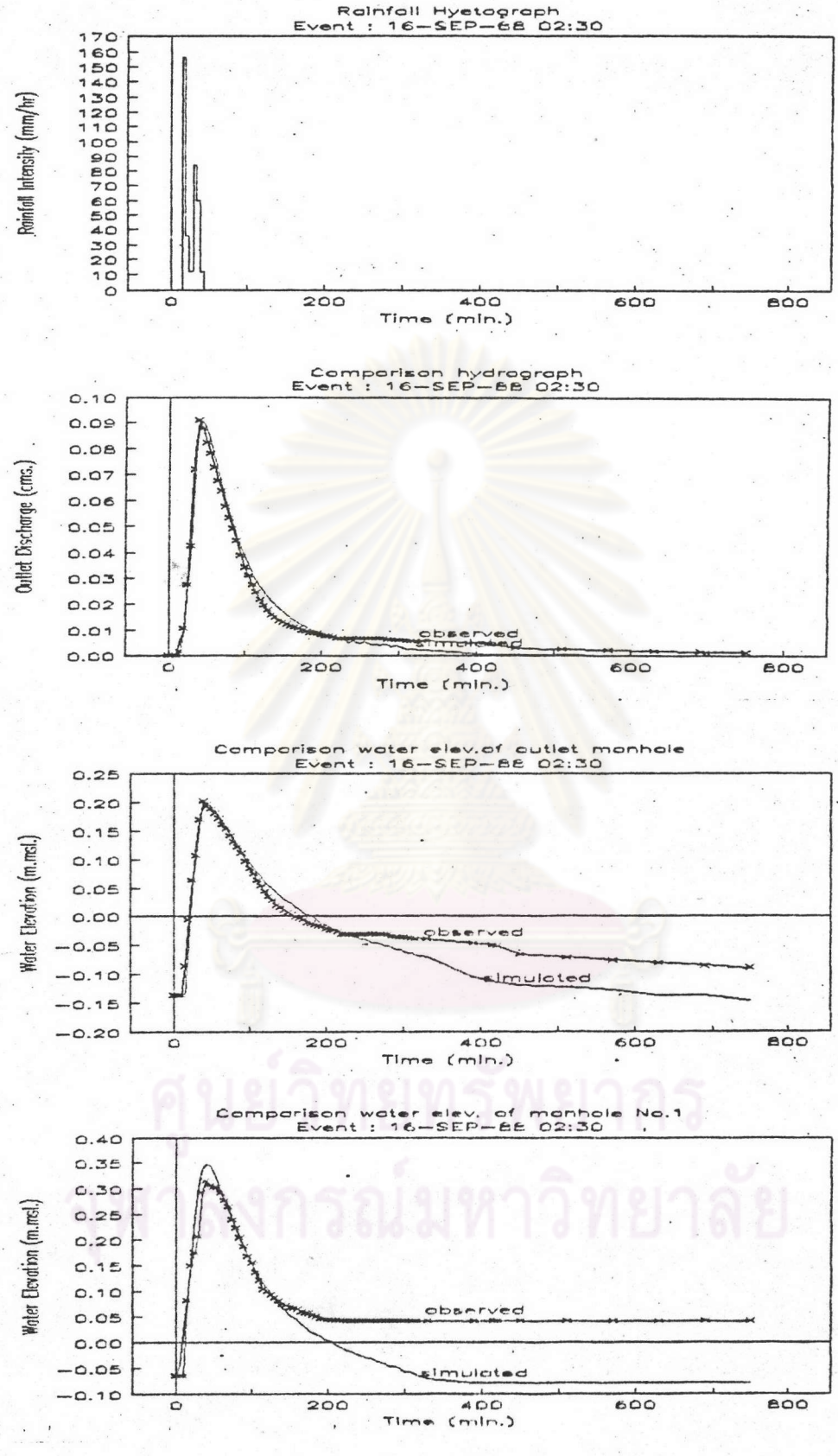
จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในสนามสรุปผลได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับสัมประสิทธิ์น้ำท่า มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าจะมากขึ้น เมื่อความเข้มฝนเพิ่มขึ้น แต่ข้อมูลมีการกระจายค่อนข้างมาก ($r = 0.783$) ซึ่งการกระจายดังกล่าวเนื่องจากมีแฟคเตอร์หลายอย่างที่ส่งผลคือ ธรรมชาติของดิน เช่น ลักษณะดิน ความพรุน ความชื้นน้ำ ความชื้น, ความลาดชันของพื้นที่, ลักษณะสิ่งปกคลุมผิว, การเก็บกักตามผิว, ช่วงเวลาฝนตก, รูปร่างของพื้นที่รับน้ำ เป็นต้น
2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลสูงสุดกับค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งข้อมูลมีการกระจายไม่มากนัก ($r = 0.918$)
3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มฝนกับค่าอัตราการไหลสูงสุดมีลักษณะเป็นเส้นตรงและข้อมูลมีการกระจายไม่มากนัก ($r = 0.913$)
4. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝนกับเวลาน้ำหลากสูงสุด มีลักษณะเป็นกราฟเอกโปรเนนเชียลแบบลดลง ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝนตามทฤษฎี แต่ข้อมูลมีการกระจายค่อนข้างมาก ($r = -0.630$)
5. กราฟอัตราการซึมที่ได้จากการทดลองมีลักษณะสอดคล้องตามสมการฮอร์ตัน โดยพื้นที่ผิวซึมน้ำที่ใช้สมการอัตราการซึมน้อย 2.96% ของพื้นที่ซึมน้ำทั้งหมด และใช้อัตราการซึมค่ามาก 97.04% ของพื้นที่ซึมน้ำทั้งหมด ซึ่งพื้นที่ซึมน้ำมีทั้งหมด 40% ของพื้นที่ทดลอง ดังนั้น จะเห็นว่าค่าอัตราการซึมมีผลมากต่อการช่วยลดปริมาณน้ำท่า และจากการวิเคราะห์หาสมการด้วยวิธีเชิงถดถอย สมการอัตราการซึมค่ามากความสัมพันธ์ของข้อมูล ($r = -0.972$) ค่อนข้างดีกว่าสมการอัตราการซึมค่าน้อย ($r = -0.951$) ดังนั้น สมการอัตราการซึมค่ามากจึงควรใช้เป็นตัวแทนสำหรับอัตราการซึมของพื้นที่ศึกษาได้
6. ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของพื้นที่ทดลอง มีค่าตั้งแต่ 0.08-0.18 ที่ความเข้มฝนในช่วง 17.0-99.0 มม./ชม. (จาก envelop curve) เวลาน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ 23.9 นาที

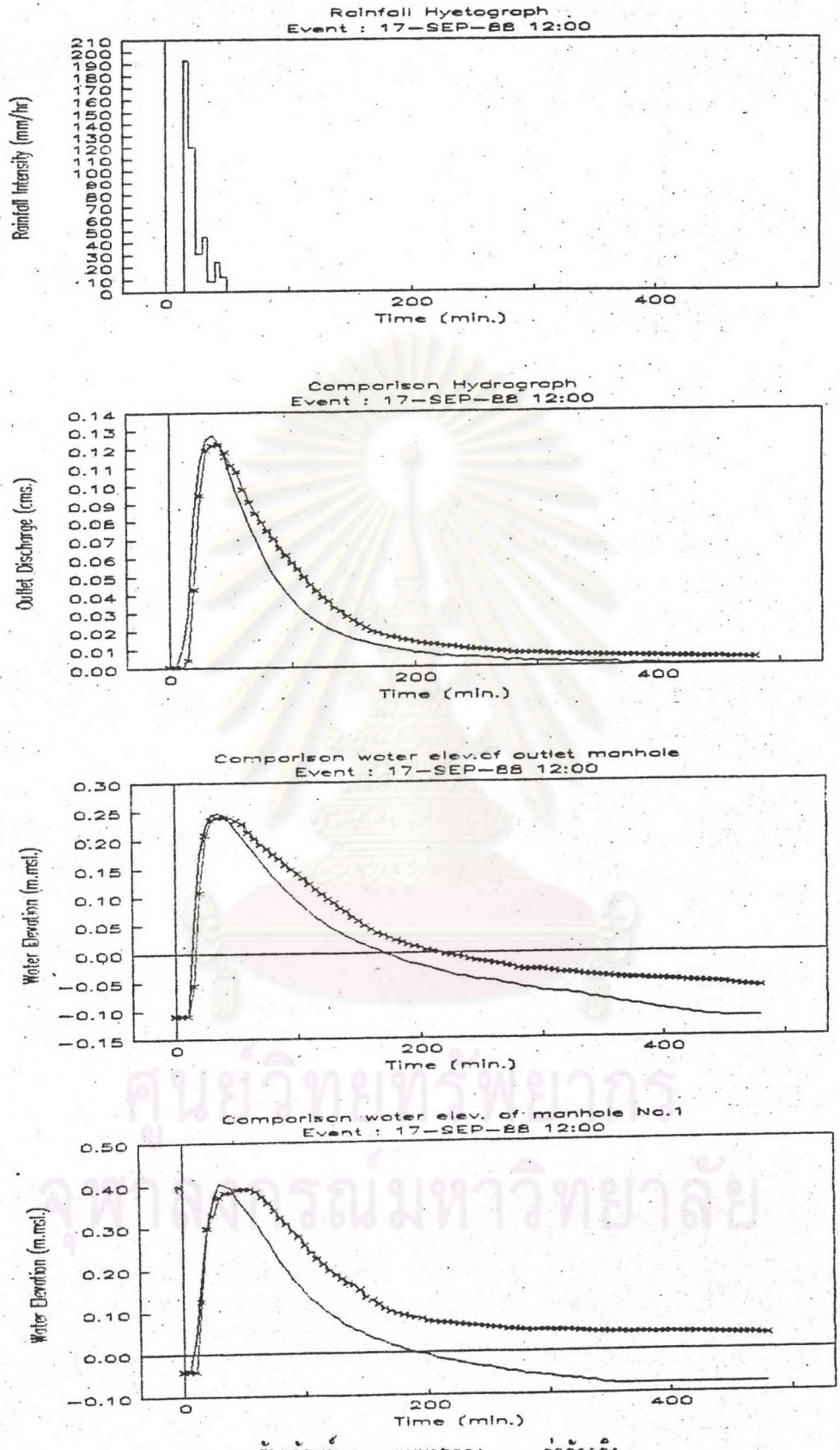


รูปที่ 4-25 ผลการปรับเทียบโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลวัดจริง เหตุการณ์ 18-JUL-88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



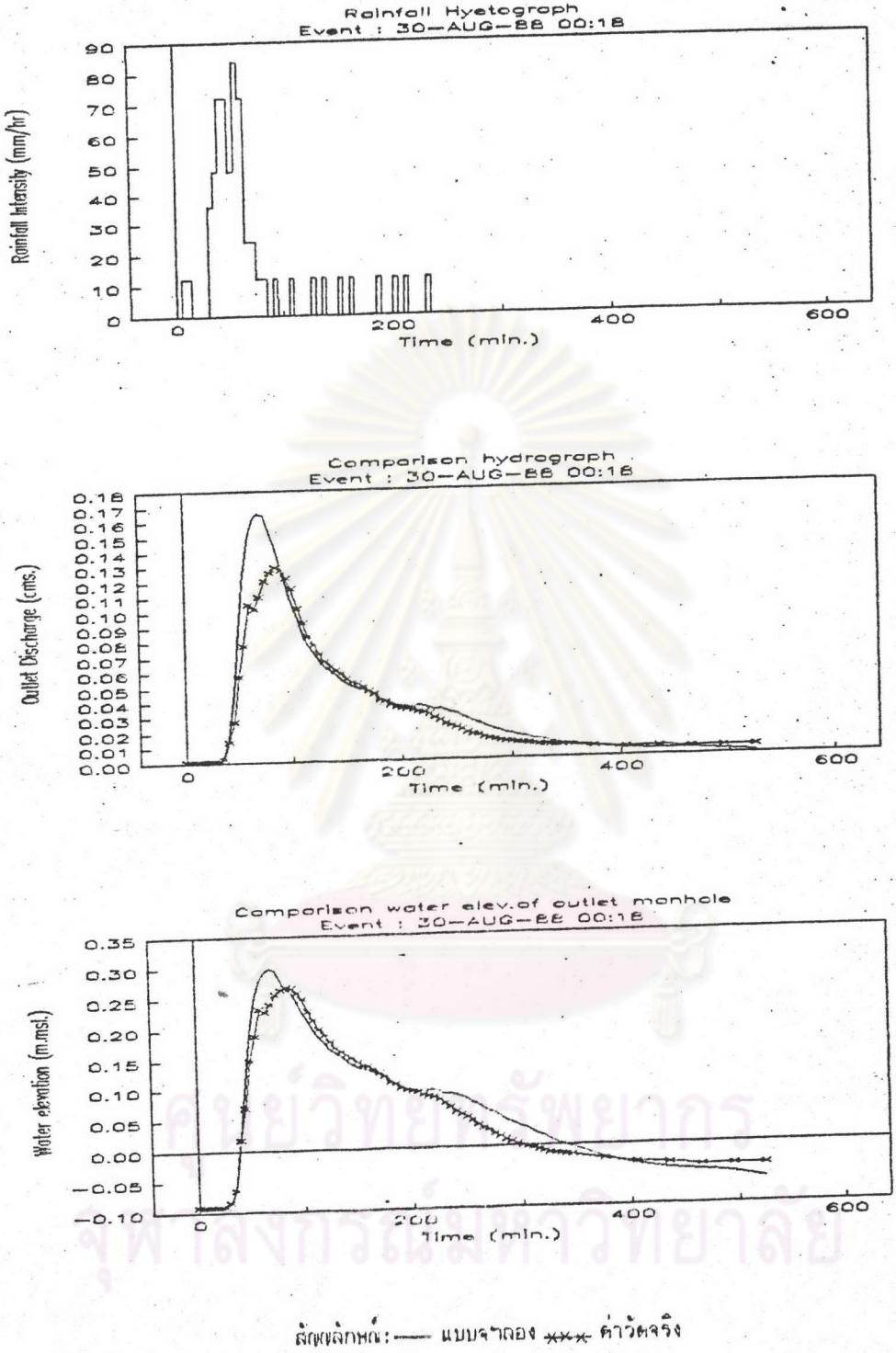
รูปที่ 4-26 ผลการปรับเทียบโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลวัดจริง เหตุการณ์ 16-SEP-88



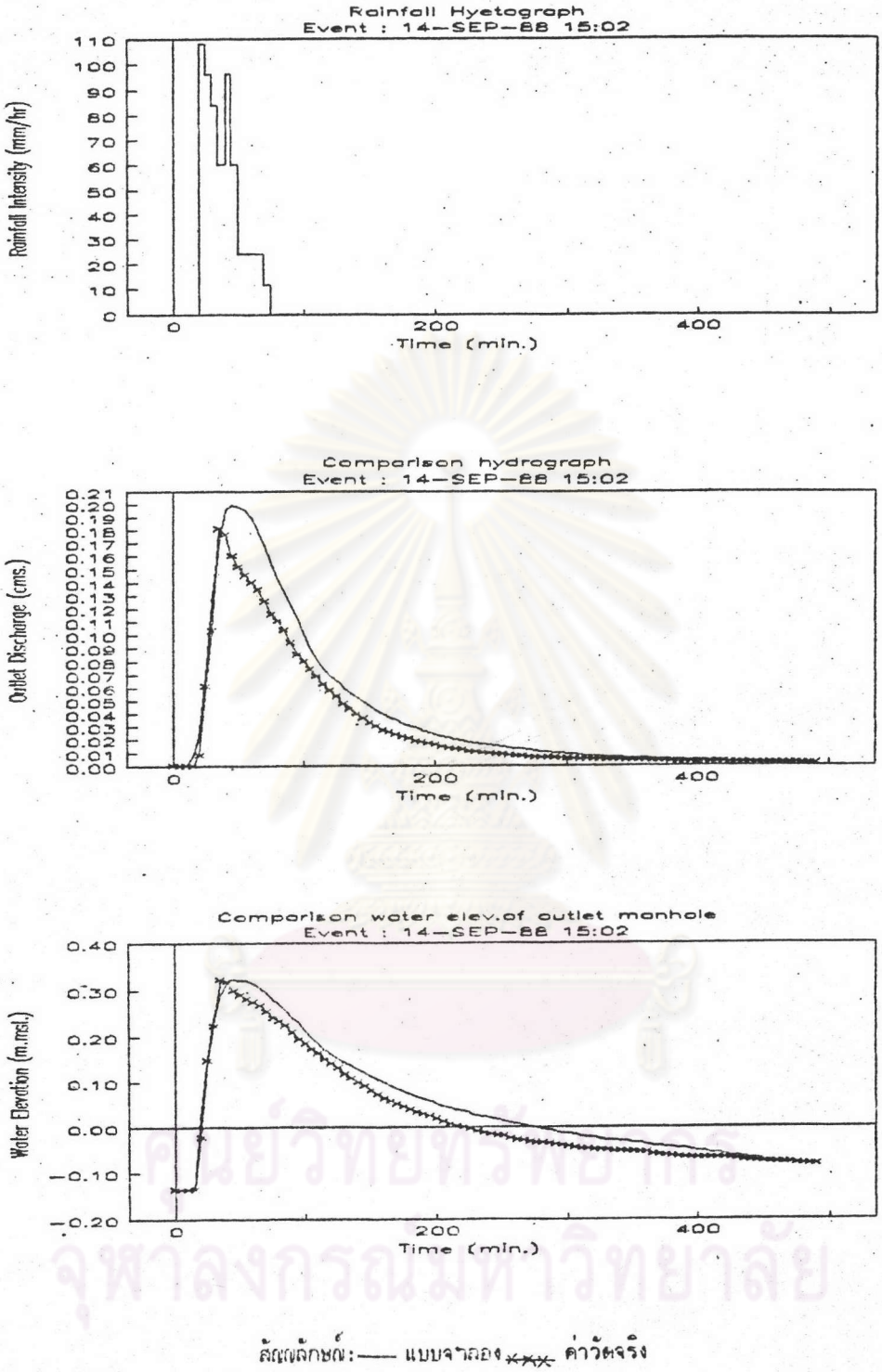
สัญลักษณ์: —— แบบจำลอง ××× ค่าวัดจริง

รูปที่ 4-27 ผลการปรับเทียบโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลวัดจริง เหตุการณ์ 17-SEP-88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4-28 ผลการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลวัดจริง เหตุการณ์ 30-AUG-88



รูปที่ 4-29 ผลการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลวัดจริง เหตุการณ์ 14-SEP-88

จากผลการทดลองปรับเทียบแบบจำลองกับพื้นที่ทดลองสรุปผลได้ดังนี้

1. พารามิเตอร์ที่มีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง SWMM ได้แก่ เปอร์เซ็นต์พื้นที่ทึบน้ำ, ค่าอัตราการซึมลงดินคงที่, ความกว้างการไหลตามผิว, สัมประสิทธิ์แมนนิ่ง, ความลึกเก็บกัก, และสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ
2. ค่าการเก็บกักตามผิวของพื้นที่ทึบน้ำจะมีผลต่อปริมาณน้ำท่ามากที่สุด
3. ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ จะมีผลมากที่สุดต่อระดับน้ำ ภายในระบบในระหว่างการปรับเทียบแบบจำลอง
4. ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ และค่าความกว้างการไหลตามผิว จะมีผลใกล้เคียงกันต่ออัตราการไหลออกสูงสุด ซึ่งมีผลมากกว่าค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ
5. ค่าพารามิเตอร์ทุกค่ามีผลกระทบต่อเวลาน้ำหลากสูงสุดค่อนข้างน้อย ซึ่งผลดังกล่าวอาจเนื่องจากพื้นที่ทดลองมีขนาดเล็ก พื้นที่น้อย ดังนั้นจึงทำให้เห็นความแตกต่างไม่ชัดเจน
6. ค่าเก็บกักตามผิวของพื้นที่ทึบน้ำจะมีผลมากที่สุดต่อปริมาณการไหลออก
7. ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวนี้จะขึ้นกับลักษณะพื้นที่คือเปอร์เซ็นต์พื้นที่ทึบน้ำ ซึ่งถ้าค่านี้เปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ผลกระทบเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นี้ แตกต่างกันไปด้วย

จากผลการวิเคราะห์และปรับเทียบแบบจำลองได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และสมการซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นที่มีคุณสมบัติของพื้นที่ดังนี้ สรุปได้ดังในตารางที่ 4-14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-14 สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของพื้นที่และปรับเทียบแบบจำลองของพื้นที่ศึกษา

คุณสมบัติพื้นที่	ค่า	หน่วย
ขนาดพื้นที่	90,927	ตารางเมตร
ความยาวพื้นที่	334	เมตร
ความลาดชัน	0.29	เปอร์เซ็นต์
เปอร์เซ็นต์พื้นที่ทึบน้ำ	60	เปอร์เซ็นต์
ขนาดท่อ/รางระบายน้ำหลัก	0.30-0.60	เมตร
ค่าตัวแปรและสมการจากการวิเคราะห์ด้วยสูตรเรชันแนล		
C=0.0012i+0.059 ; 17.0 < i < 99.0		มม./ชม.
f=2.8+(68.0-2.8)e^-0.26t		ซม./ชม.
ค่า Tp ใช้สูตร Bransby-Williams		(นาที)
ค่าพารามิเตอร์ปรับเทียบ		ค่ากำหนด
ค่าเก็บกักตามผิว		
-พื้นที่ทึบน้ำ 24.4-43.7 มม.(เฉลี่ย 34.0 มม.)		1.58 มม.
-พื้นที่ซึมน้ำ 29.2-45.7 มม.(เฉลี่ย 37.0 มม.)		4.67 มม.
ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง		
-พื้นที่ทึบน้ำ	0.050	0.013
-พื้นที่ซึมน้ำ	0.300	0.25
ค่าสัมประสิทธิ์ความกว้างการไหลตามผิว 0.31-0.53		-
ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ 0.025-0.050(เฉลี่ย 0.038)		0.015

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับค่าตัวแปรที่ได้จากการปรับเทียบจากแบบจำลองให้ค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด โดยแบบจำลอง เนื่องจากลักษณะพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ราบมากเป็นแอ่ง จึงทำให้ค่าเก็บกักตามผิวของพื้นที่มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อ/รางระบายน้ำ มีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดมากเนื่องจาก ระบบท่อ/รางระบายน้ำภายในพื้นที่ศึกษา มีบ่อพักอยู่มาก เป็นท่อเก่ามีตะกอนสะสมอยู่ด้วย และบางแห่งรางระบายน้ำชำรุดทำให้หน้าตัดที่แท้จริงไม่ตรงกับที่กำหนดไว้ในแบบจำลอง ส่วนค่าความกว้างการไหลตามผิวเป็นค่าที่ค่อนข้างกำหนดเป็นเกณฑ์ขึ้นได้ยาก เนื่องจากสภาพพื้นที่และระบบระบายน้ำของพื้นที่ศึกษาไม่สามารถกำหนดค่าความกว้างการไหลตามผิวให้ตรงตามสมมุติฐานที่กำหนดไว้ในแบบจำลองได้

ดังนั้น สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้งาน หรือประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น ๆ ควรต้องพิจารณาลักษณะพื้นที่นั้นว่ามีคุณสมบัติพื้นที่รับน้ำใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษานี้หรือไม่ เช่น ลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบ และเป็นแอ่ง มีขอบถนนและขอบทางเท้า ค่าความลึกเก็บกักก็จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าจากการศึกษานี้ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของพื้นที่นั้น จะไม่มีผลมากนักต่ออัตราการไหลและปริมาณน้ำท่า ซึ่งการนำค่าจากการศึกษานี้ไปใช้ก็ควรวิเคราะห์ความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลและปริมาณน้ำท่าด้วย ถ้าความไวไม่มากนัก ก็ใช้ค่าดังกล่าวนี้ได้ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งของท่อก็ให้พิจารณาลักษณะสภาพของท่อว่าเป็นท่อใหม่หรือท่อเก่า ถ้าเป็นท่อใหม่ก็อาจจะใช้ตามค่าที่กำหนดโดยแบบจำลอง แต่ถ้าเป็นท่อเก่าก็อาจใช้ตามค่าที่ได้จากการศึกษานี้ได้ ส่วนค่าความกว้างการไหลตามผิวเป็นค่าที่ต้องพิจารณาอย่างมาก กล่าวคือ ขึ้นกับรูปร่างพื้นที่รับน้ำ ตำแหน่งที่น้ำท่าจะไหลลงท่อได้ คือ ถ้าการไหลของน้ำไหลลงรางระบายน้ำเปิดทั้งสองข้างก็ใช้ตามสมมติฐานที่กำหนดโดยแบบจำลองมีค่าเท่ากับสองเท่าของความยาวรางระบายน้ำ ถ้าการไหลของน้ำไหลลงรางระบายน้ำเปิดเพียงข้างเดียวก็ใช้ค่าเท่ากับความยาวของรางระบายน้ำนั้น และถ้ากรณีเป็นท่อระบาย หรือรางระบายที่มีฝาปิดซึ่งน้ำไหลลงได้เป็นจุด ๆ ที่บ่อพักการกำหนดค่าอาจใช้ตามการศึกษานี้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย