บทที่ 3

การออกแบบและวิเคราะห์ระบบระบายน้ำในเมืองโดยวิธีการวอลลิงฟอร์ด
(Design and analysis of urban storm drainage: the Wallingford procedure)

วิธีการวอลลิงฟอร์ด (HRL, 1987) เป็นวิธีการที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบและวิเคราะห์ระบบระบายน้ำในเขตเมืองที่พัฒนาขึ้นโดย Hydraulics Research Limited แห่งประเทศอังกฤษและได้นำออกเผยแพร่ในรูปของโปรแกรมการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ 2 โปรแกรม คือ WALLRUS และ SPIDA

3.1 โปรแกรม WALLRUS

WALLRUS สามารถใช้ได้ทั้งเป็นการออกแบบหรือเป็นการวิเคราะห์และประเมินผลระบบท่อและทางน้ำเปิดที่มีโครงสร้างระบบแบบก้างปลา (dendritic or treelike system) ที่มีการไหลในทิศทางเดียวและไม่มีการไหลย้อนกลับ (reverse flow)

โปรแกรม WALLRUS ประกอบด้วยโปรแกรมวิธีคำนวณหลาย ๆ วิธี ที่สามารถเลือกใช้ตามสภาพปัญหาของระบบระบายน้ำที่แตกต่างกัน ดังนี้

โปรแกรมการออกแบบ 2 วิธี
- วิธีหลักเหตุผล (Rational or MicroRAT Method)
- วิธีชลภาพ (Hydrograph Method)

โปรแกรมการวิเคราะห์
- วิธีการจำลองสภาพ (Simulation Method)

โปรแกรมอื่น ๆ
- โปรแกรมป้อนและแก้ไขข้อมูล
- โปรแกรมคำนวณราคา
- โปรแกรมแสดงผลในรูปกราฟ

3.1.1 วิธีหลักเหตุผล (Rational or MicroRAT method)

วิธีหลักเหตุผล เป็นโปรแกรมวิธีคำนวณที่ง่ายที่สุด ใช้ในการออกแบบ ระบบระบายน้ำจากน้ำฝน (storm sewers) ระบบระบายน้ำจากน้ำเสีย (foul sewers) หรือทั้ง 2 ระบบรวมกัน (combined sewers)

โปรแกรมสามารถคำนวณได้ทั้งความลาดชันและขนาดของระบบท่อและทางน้ำ โดยความลาดชันคำนวณจากการกำหนดค่าความเร็วต่ำสุดเพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอน ขนาดท่อคำนวณโดยวิธีหลักเหตุผลเพื่อหาอัตราการไหลสูงสุด จากสูตร

$$Q_p = 2.78\ CiA \qquad \text{.....(3-1)}$$

โดย Q_p = อัตราการไหลสูงสุด, ลิตร/วินาที

C = สัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient)

i = ความเข้มฝนเฉลี่ย, มิลลิเมตร/ชั่วโมง

A = พื้นที่รับน้ำ, เฮกแตร์

วิธีหลักเหตุผล ใช้ได้กับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก (ไม่เกิน 150 เฮกแตร์) สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่กว่านี้ ควรคำนวณออกแบบโดยใช้วิธีชลภาพ

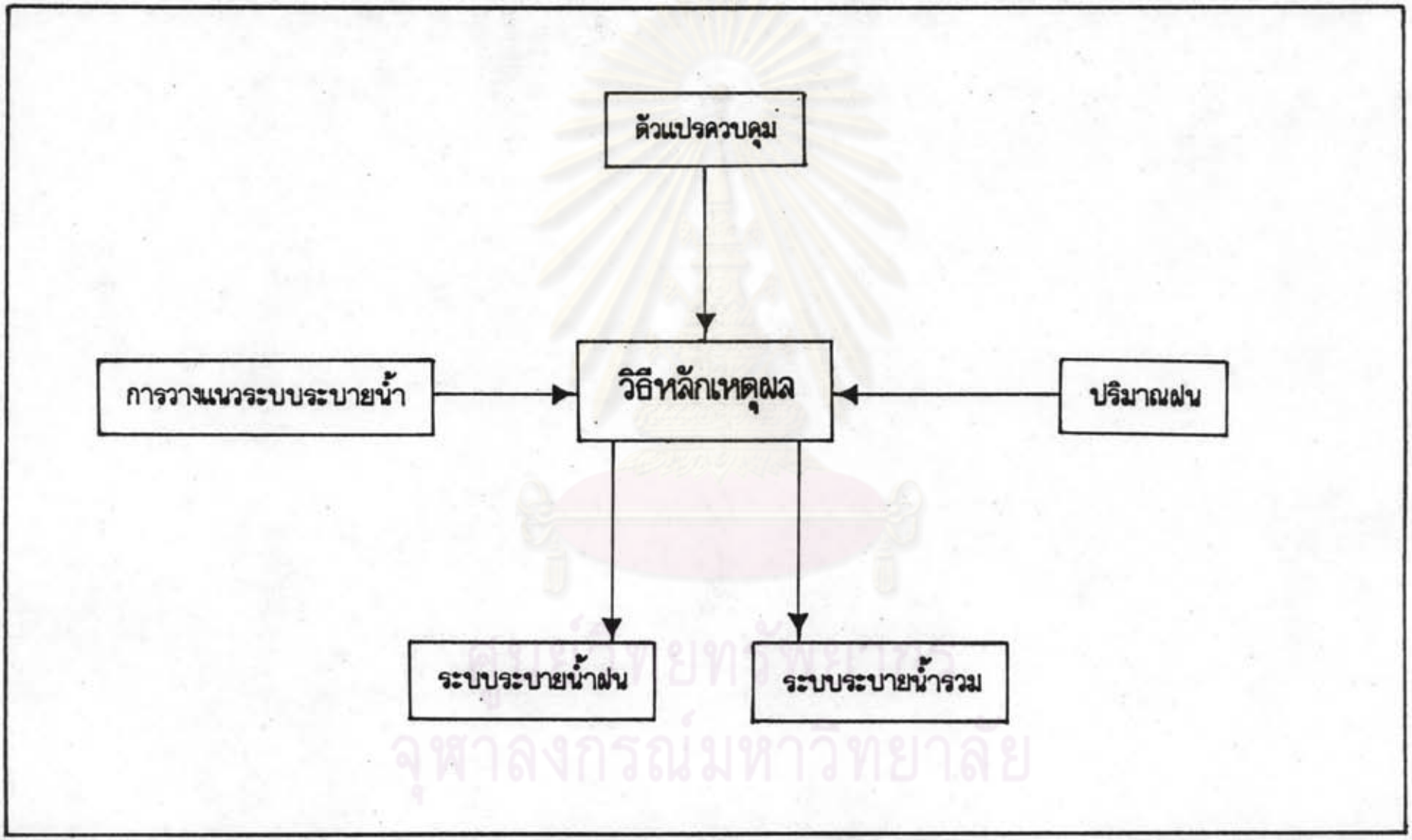
แผนผังการทำงานของวิธีหลักเหตุผล แสดงอยู่ในรูปที่ 3-1

3.1.2 <u>วิธีชลภาพ</u> (Hydrograph method)

วิธีชลภาพ เป็นโปรแกรมวิธีคำนวณที่ใช้ในการออกแบบขนาดของระบบท่อและทางน้ำเปิดสำหรับระบบที่มีการวางแนวและรู้ค่าระดับแล้ว การคำนวณใช้วิธีการหลากของชลภาพโดยวิธี Muskingum-Cunge ซึ่งเป็นการออกแบบขนาดท่อเพื่อรองรับอัตราการไหลสูงสุด

<u>ขั้นตอนการทำงานของวิธีชลภาพ</u> มีดังนี้

1) เลือกช่วงเวลาฝน (duration) ที่สั้นที่สุด สำหรับคาบการกลับ (return period) ที่กำหนด
2) โปรแกรมจะคำนวณชลภาพน้ำท่าจากพื้นที่รับน้ำ เข้าสู่ท่อแรกในสาขา (branch) ที่ยาวที่สุด
3) คำนวณขนาดท่อ เพื่อรองรับอัตราการไหลสูงสุด
4) คำนวณการหลากของชลภาพสู่ท่อถัดไปทางด้านท้ายน้ำจนถึงท่อสุดท้าย
5) คำนวณใหม่โดยคิดชลภาพการไหลเข้า (inflow hydrograph) รวมกับชลภาพน้ำท่า สำหรับท่อถัดไป
6) คำนวณซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 ในแต่ละท่อ
7) คำนวณซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 สำหรับช่วงเวลาฝนที่ยาวขึ้น



รูปที่ 3-1 แผนผังการทำงานของวิธีหลักเหตุผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทั้งวิธีชลภาพและวิธีหลักเหตุผล ไม่สามารถคำนวณกรณีเกิดการไหลภายใต้ความดัน (surcharge) และกรณีเกิดอิทธิพลน้ำไหลเอ่อ (backwater effect)

แผนผังการทำงานของวิธีชลภาพ แสดงอยู่ในรูปที่ 3-2

3.1.3 <u>วิธีการจำลองสภาพ</u> (Simulation method)

เป็นวิธีจำลองสภาพอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในระบบที่เกิดน้ำท่วมพื้นผิว (surface flooding) หรือเกิดการไหลภายใต้ความดัน สำหรับพายุฝนลูกหนึ่ง ๆ ในระบบระบายน้ำในปัจจุบัน หรือระบบระบายน้ำที่ออกแบบไว้ โดยอาศัยวิธี non-inertia routing technique วิธีการจำลองสภาพ อาจประยุกต์ใช้กับระบบที่มีการไหลแบบรูปบ่วง แต่ต้องเป็นการไหลทิศทางเดียว โดยใส่ทางน้ำล้น (overflow) เพื่อไม่ให้มีการไหลย้อนกลับ

วิธีการจำลองสภาพจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

<u>ส่วนที่ 1</u> เป็นโปรแกรมตรวจสอบข้อมูลระบบระบายน้ำที่ป้อนเข้าไป ถ้ามีข้อผิดพลาดจะต้องกลับไปแก้ไขในแฟ้มข้อมูลก่อนที่จะทำการคำนวณต่อไป

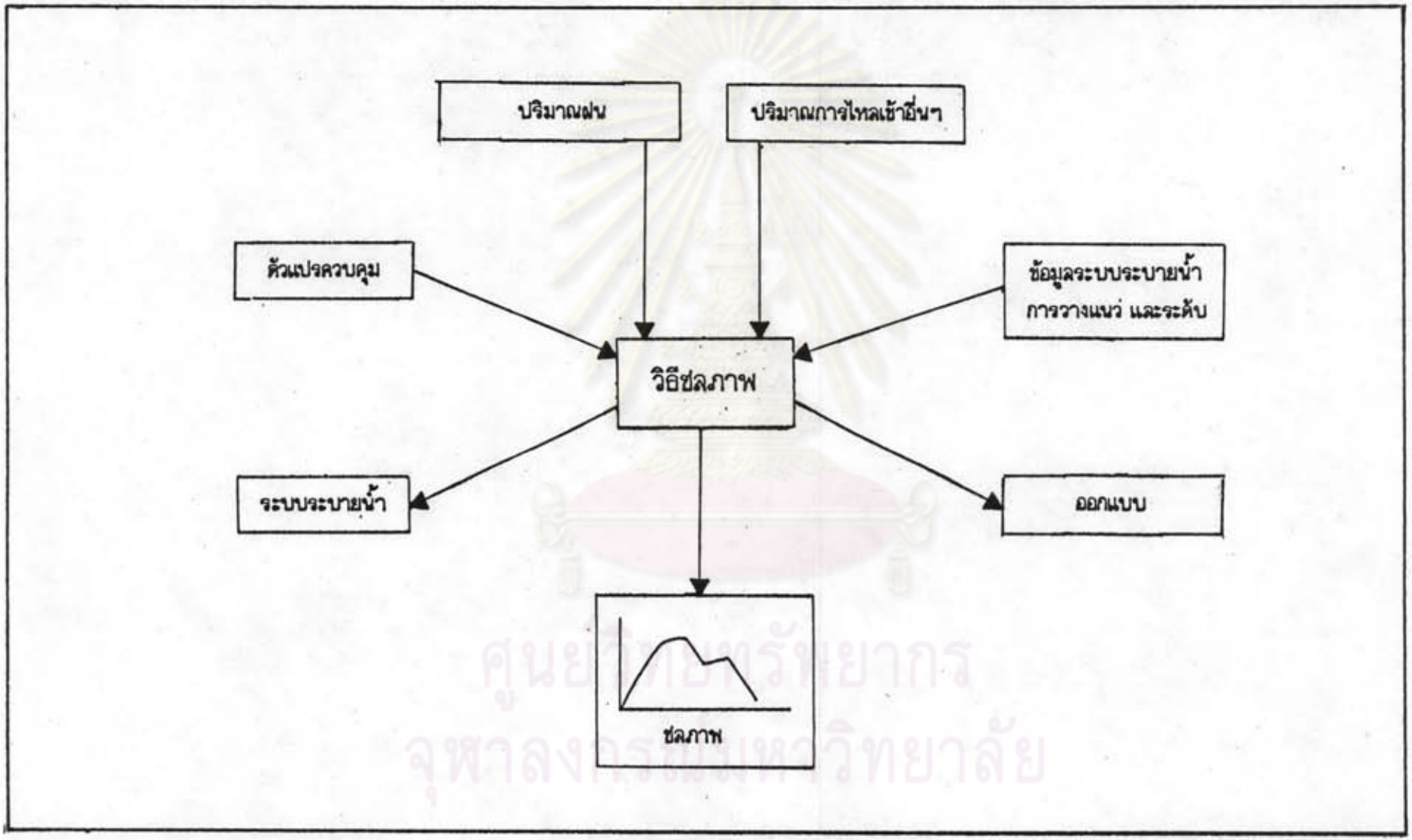
<u>ส่วนที่ 2</u> เป็นโปรแกรมคำนวณปริมาณการไหลในท่อ จากข้อมูลระบบระบายน้ำและข้อมูลปริมาณน้ำฝน และแสดงผลสรุปของการวิเคราะห์ออกมาในรูปตารางและชลภาพ

แผนผังการทำงานของวิธีการจำลองสภาพ แสดงอยู่ในรูปที่ 3-3

3.1.4 <u>สมมติฐานและข้อจำกัดของโปรแกรม WALLRUS</u>

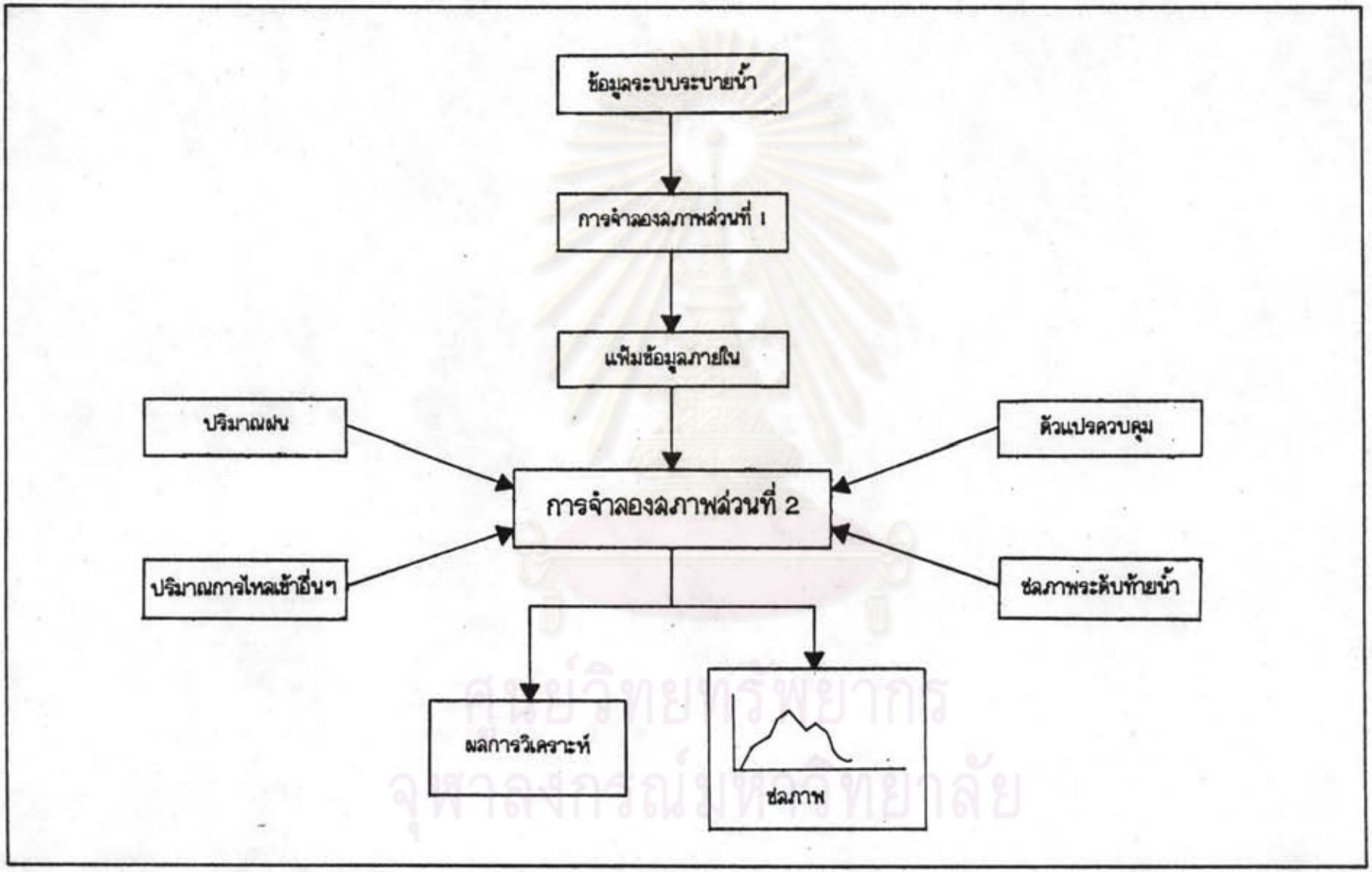
สมมติฐานและข้อจำกัดของโปรแกรม WALLRUS ที่สำคัญ มีดังนี้คือ

- ใช้สำหรับระบบระบายน้ำที่มีการไหลในทิศทางเดียว
- การคำนวณอิทธิพลน้ำไหลเอ่อ มีใช้เฉพาะในวิธีการจำลองสภาพ
- ความลาดชันของท่อที่เป็นลบ โปรแกรมจะปรับให้มีความลาดชันที่ค่อนข้างราบมาก (very flat positive gradient)
- ไม่คิดการสูญเสียที่บ่อพัก จนกว่าท่อจะเกิดการไหลภายใต้ความดัน
- ไม่คิดการเคลื่อนตัวของตะกอน, การเปลี่ยนแปลงความดันอากาศและความหนาแน่นของน้ำ



รูปที่ 3-2 แผนผังการทำงานของวิธีชลภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3-3 แผนผังการทำงานของวิธีการจำลองสภาพ

3.1.5 การทำงานของโปรแกรม WALLRUS

โปรแกรมวิธีคำนวณแต่ละวิธีในโปรแกรม WALLRUS สามารถเลือกใช้ได้โดยอิสระ แต่รูปแบบของข้อมูลป้อนเข้าจะเหมือนกัน สามารถนำมาใช้ในการคำนวณต่อเนื่องกันได้

การพิจารณาออกแบบระบบระบายน้ำใหม่ วิธีหลักเหตุผลเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วที่สุด ส่วนวิธีชลภาพจะคำนวณได้ช้ากว่า แต่โดยทั่วไปจะได้ผลลัพธ์ของระบบที่มีราคาถูกมากกว่าสำหรับระบบระบายน้ำขนาดใหญ่

จุดเด่นของโปรแกรม WALLRUS ประการหนึ่งก็คือ สามารถใช้ออกแบบระบบระบายน้ำเบื้องต้น สำหรับฝนที่คาบการกลับค่าหนึ่ง และนำมาประเมินสภาพระบบระบายน้ำ สำหรับฝนที่มีคาบการกลับสูงกว่าได้ โดยใช้โปรแกรมวิธีการจำลองสภาพ

แผนผังการทำงานของโปรแกรม WALLRUS แสดงในรูปที่ 3-4

3.2 โปรแกรม SPIDA

SPIDA เป็นโปรแกรมการจำลองสภาพสำหรับระบบที่มีการไหลแบบรูปบ่วง (Looped network system) ใช้ได้เฉพาะการวิเคราะห์และการประเมินผลระบบระบายน้ำปัจจุบันหรือระบบระบายน้ำที่ออกแบบไว้ เนื่องจากมีโครงสร้างของแฟ้มข้อมูลและหลักการคำนวณที่ต่างจากโปรแกรม WALLRUS โดยคำนวณปริมาณการไหลในท่อและทางน้ำตามสมการพลศาสตร์เต็มรูปแบบ (full dynamic equation) หรือสมการของ Saint-Venant ทำให้สามารถคำนวณปริมาณการไหลแบบรูปบ่วง และมีการไหลเอ่อได้

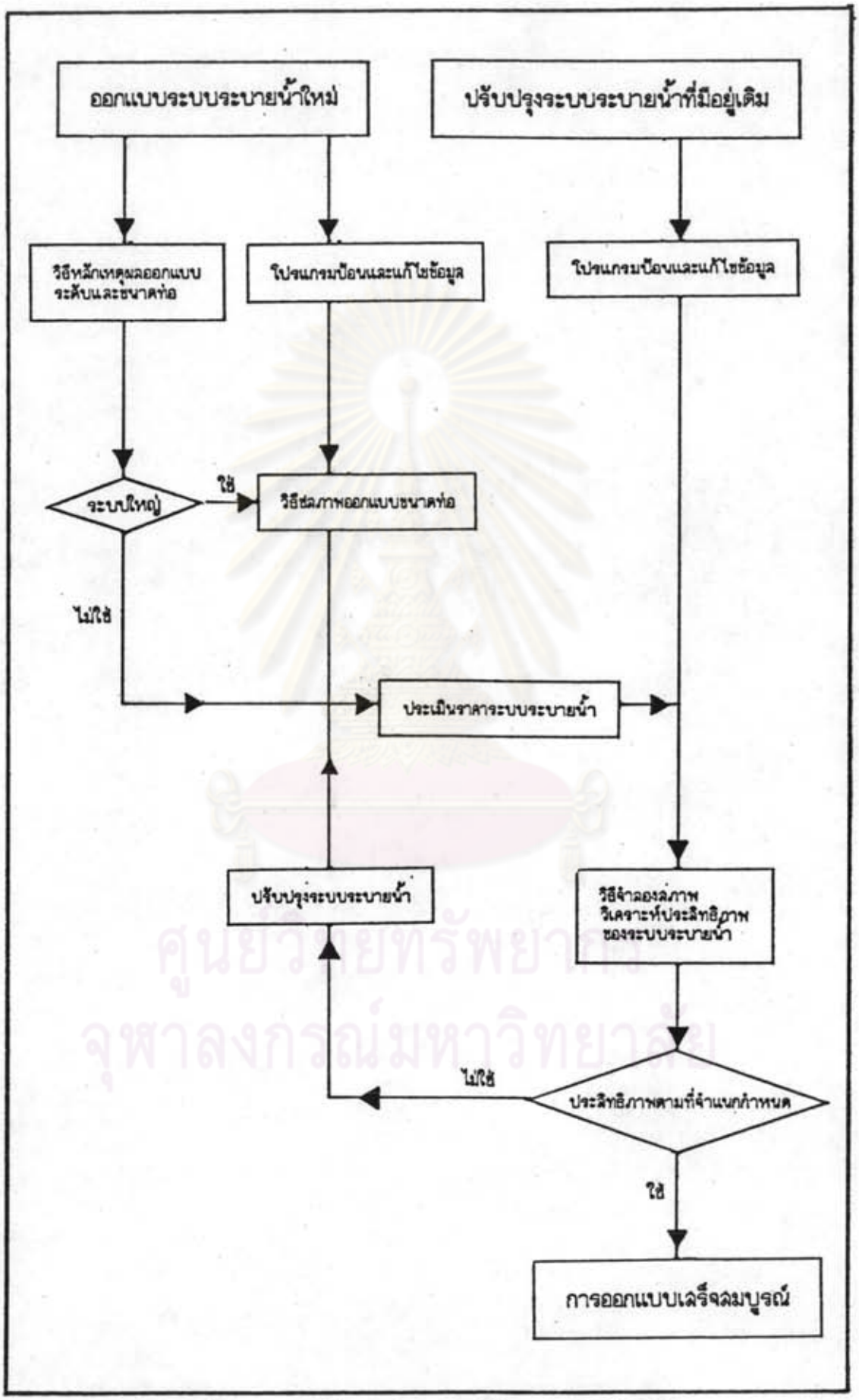
แผนผังการทำงานของโปรแกรม SPIDA แสดงอยู่ในรูปที่ 3-5

3.2.1 สมมติฐานและข้อจำกัดของโปรแกรม

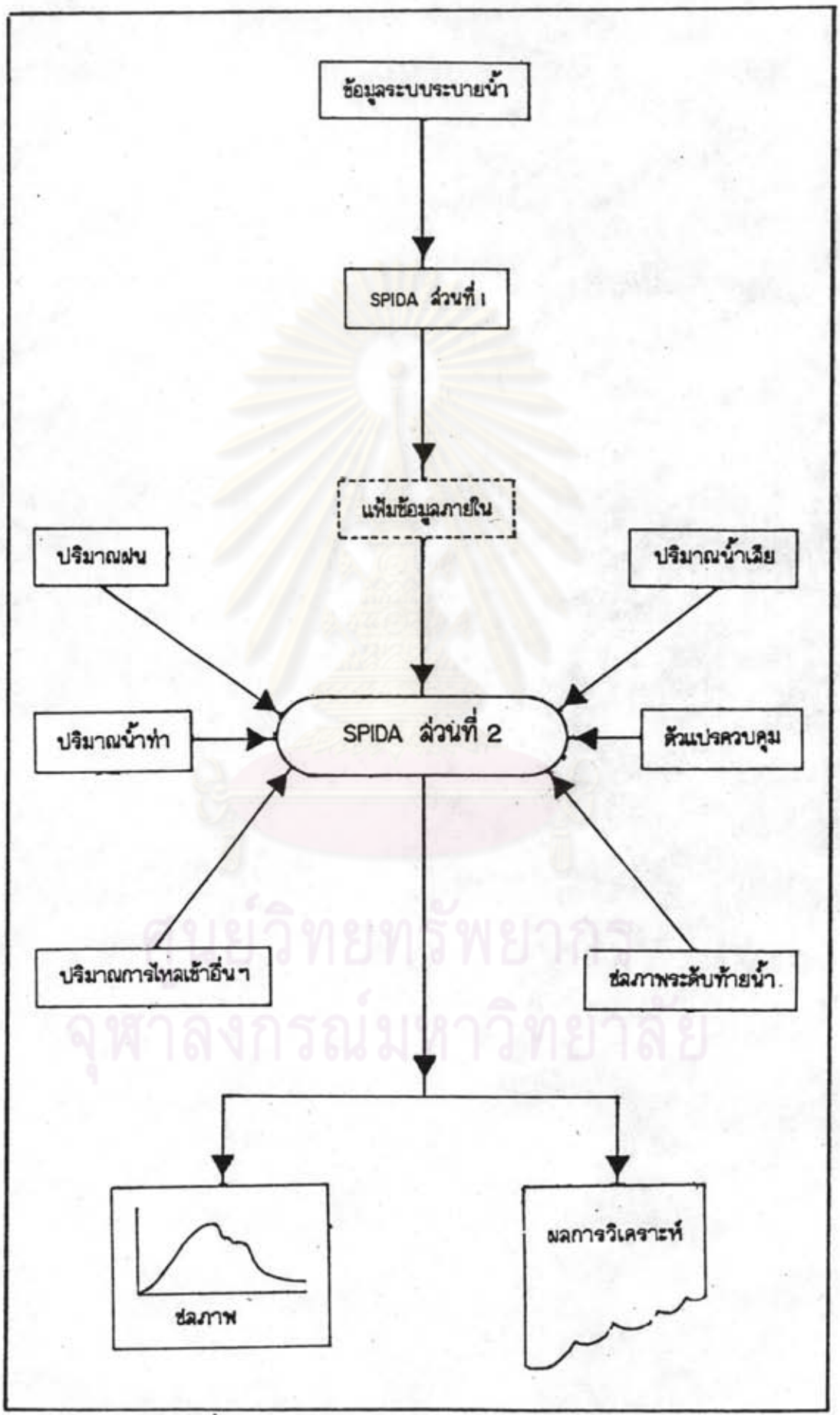
เนื่องจากมีข้อสมมติฐานหลายประการ ในการคำนวณการหลากทางชลศาสตร์ของปริมาณการไหลในระบบ ก่อให้เกิดขีดจำกัดในการใช้งานของโปรแกรม กล่าวคือ โปรแกรม SPIDA ไม่สามารถใช้วิเคราะห์กรณีเกิดน้ำกระโดด (hydraulic jumps) และช่วงการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะการไหลเหนือวิกฤต (Super-critical flow) เป็นสภาวะการไหลใต้วิกฤต (Sub-critical flow) และไม่ควรใช้โปรแกรมในการคำนวณระบบระบายน้ำที่มีสภาวะการไหลเหนือวิกฤต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ISBN 974-9416-48



รูปที่ 3-4 แผนผังการทำงานของโปรแกรม WALLRUS



รูปที่ 3-5 แผนผังการทำงานของโปรแกรม SPIDA

3.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

3.3.1 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff coefficient, C)

ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าที่ใช้ในวิธีหลักเหตุผล มีวิธีคำนวณได้ 3 วิธี คือ

1) วิธีแบบจำลองน้ำท่าของวอลลิงฟอร์ด (UK Wallingford runoff model)

วิธีแบบจำลองน้ำท่าของวอลลิงฟอร์ด สามารถใช้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (C) เฉพาะพื้นที่ในประเทศอังกฤษเท่านั้น (NWC, 1981) โดยกำหนดให้

$$C = C_v C_r \qquad \text{.....(3-1)}$$

เมื่อ C_v = สัมประสิทธิ์ปริมาตร (volumetric coefficient)

C_r = สัมประสิทธิ์การหลาก (routing coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ C_v เป็นอัตราส่วนของปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ ต่อปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในระบบ ค่าที่แนะนำให้ใช้มีค่าระหว่าง 0.6 - 0.9 ขึ้นอยู่กับประเภทของดินและลักษณะของพื้นที่รับน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ C_r จะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับพื้นที่ และค่าความเข้มของฝน ผลจากการทดลองพบว่า C_r มีค่าระหว่าง 1-2 ค่าที่แนะนำให้ใช้คือ 1.3

2) วิธี SCS

หน่วยงานอนุรักษ์ดินของอเมริกา ได้พิจารณาวิธีคำนวณหาปริมาณการไหลออกจากพื้นที่ที่ไม่มีข้อมูลน้ำท่า แต่มีข้อมูลเกี่ยวกับดินและพืชปกคลุม วิธีการได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากข้อมูลน้ำฝนและการไหลออกในเงื่อนไขของพืชปกคลุมและดินชนิดต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก วิธีนี้ใช้ได้กับพื้นที่โปร่งน้ำ (pervious area) โดยกำหนดเป็นค่าปริมาณเก็บกัก (storage depth) ค่าที่แนะนำให้ใช้สรุปไว้ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ปริมาณเก็บกัก (Storage depth) ตามวิธี SCS

COVER TYPE	COVER QUALITY	SOIL GROUP			
		A	B	C	D
Woodland	Poor	310	130	75	50
	Fair	450	170	95	65
	Good	760	210	110	75
Grassland,	Poor	189	90	50	40
parkland	Fair	320	140	75	55
	Good	520	180	100	65
Arable	Good	150	85	52	38

3) <u>วิธีกำหนดค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์น้ำท่า</u> (Fixed runoff coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า จะแตกต่างกันตามสภาพการใช้พื้นที่ (land use) โดยแบ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับการใช้พื้นที่ทึบน้ำ (impervious area) และพื้นที่โปร่งน้ำ (pervious area) ดังแสดงในตารางที่ 3-2 และ 3-3 ตามลำดับ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ เป็นตัวเลขสำเร็จที่บรรจุอยู่ในโปรแกรม และในการคำนวณจะกำหนดเป็นค่าดัชนี (index) ตามที่กำหนดในตารางดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-2 ดัชนีพื้นที่ทึบน้ำ (impervious index)

ดัชนี	ลักษณะการใช้พื้นที่	สัมประสิทธิ์น้ำท่า
0	คำนวณโดยวิธีแบบจำลองน้ำท่าของวอลลิงฟอร์ด	-
1	ผิวถนนคุณภาพสูง มีทางระบายน้ำทุก 50 เมตร (โดยประมาณ)	1.00
2	ผิวถนนคุณภาพสูง มีทางระบายน้ำทุก 100 เมตร (โดยประมาณ)	0.90
3	ผิวถนนคุณภาพปานกลาง	0.85
4	ผิวถนนคุณภาพต่ำ	0.80
5	กำหนดค่าได้	0.75
6	กำหนดค่าได้	0.70
7	กำหนดค่าได้	0.65

ตารางที่ 3-3 ดัชนีพื้นที่โปร่งน้ำ (pervious index)

ดัชนี	ลักษณะการใช้พื้นที่	สัมประสิทธิ์น้ำท่า
0	คำนวณโดยวิธีแบบจำลองน้ำท่าของวอลลิงฟอร์ด	-
1	ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก	0.55
2	ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นปานกลาง	0.45
3	ย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่นน้อย และย่านอุตสาหกรรม	0.35
4	พื้นที่โล่ง (open area)	0.25
9	คำนวณโดยวิธี SCS	-

3.3.2 การคำนวณปริมาณการไหลผิวดิน (Overland flow)

1) เวลาของการรวมตัว (Time of concentration)

เวลาของการรวมตัว (t_c) มีค่าเท่ากับเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดมาถึงจุดที่พิจารณา (t_x) รวมกับเวลาการไหลในท่อ (t_f) ตามสมการ

$$t_c = t_x + t_f \qquad \text{.....(3-2)}$$

จากผลงานวิจัย โดยใช้ข้อมูลพื้นที่รับน้ำจากประเทศอังกฤษ, สวีเดน และเนเธอร์แลนด์ C.H.R.Kidd (NWC, 1981) ได้แนะนำให้คำนวณค่า t_x ตามสมการ

$$t_x = 7.44\, L^{0.133}\, S^{-0.274} \qquad \text{.....(3-3)}$$

เมื่อ L = ความยาวของทางน้ำไหล (เมตร)

S = ความลาดชันของพื้นที่ (%)

ค่าเวลาของการรวมตัว (t_c) ที่แนะนำให้ใช้ ขึ้นอยู่กับคาบการกลับ (return period) ดังนี้

คาบการกลับ	เวลาของการรวมตัว (นาที)
5 ปี	3 - 6
2 ปี	4 - 7
1 ปี	4 - 8
1 เดือน	5 - 10

และเวลาการไหลในท่อ (t_f) คำนวณจากความเร็วน้ำไหลเต็มท่อ (pipe full velocity)

ในการคำนวณให้ป้อนข้อมูลเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดมาถึงจุดที่พิจารณา (t_x) โปรแกรมจะคำนวณเวลาการไหลในท่อ (t_f) และเวลาของการรวมตัว (t_c) ให้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) <u>แบบจำลองปริมาณน้ำท่าแบบเชิงเส้น</u> (Linear reservoir runoff model)

การคำนวณปริมาณการไหลผิวดิน โดยการกำหนดค่าเวลาการรวมตัว ดังได้กล่าวมาแล้วนั้นเป็นหลักการคำนวณตามวิธีหลักเหตุผล สำหรับวิธีอื่น ๆ จะคำนวณโดยอาศัยหลักการของ Linear reservoir runoff model ตามสมการ

$$ds / dt = q_i - q_o \qquad \text{.....(3-4)}$$

และ $$S = Kq_o \qquad \text{.....(3-5)}$$

เมื่อ S = ปริมาณเก็บกักบนผิวดิน

q_i = ปริมาณไหลเข้า (จากปริมาณฝน)

q_o = ปริมาณไหลออกจากระบบ

K = ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก

ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บกัก (K) เป็นฟังก์ชันของความลาดชันของผิวหน้าพื้นที่ ขนาดของพื้นที่รับน้ำ และค่าความเข้มของฝนซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$K = a\, S^{-0.274}\, A^{0.32}\, i^{-0.39} \qquad \text{.....(3-6)}$$

โดย a = 0.37 สำหรับพื้นที่ทึบน้ำ

= 1.80 สำหรับพื้นที่โปร่งน้ำ

3.3.3 <u>การคำนวณปริมาณการไหลในท่อและทางน้ำ</u>

1) <u>การไหลคงที่</u> (Steady flow) คำนวณได้จาก 2 สมการ คือ

ก) สมการของ Colebrook-White

$$V = -\sqrt{32gRs}\, \log_{10} [\{k_s/(14{,}800R)\}+\{(1.255\nu)/(R\sqrt{32gRs})\}] \qquad \text{....(3-7)}$$

เมื่อ k_s = ค่าความขรุขระของท่อ (equivalent sand roughness), มิลลิเมตร

R = รัศมีชลศาสตร์, เมตร

V = ความเร็วการไหล, เมตร/วินาที

s = ความลาดเอียงของผิวน้ำ

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, เมตร/วินาที^{2}

ν = ค่าความหนืดจลนศาสตร์ (kinematic viscosity), เมตร^2/วินาที

ข) สมการของแมนนิ่ง (Manning velocity equation)

$$V = (1/n) R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{.....(3-8)}$$

โดย V = ความเร็วเฉลี่ย, เมตร/วินาที

R = รัศมีชลศาสตร์, เมตร

S = ความลาดเอียงของผิวน้ำ

เนื่องจากสมการของแมนนิ่ง มีข้อจำกัดในการใช้คำนวณในพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ ในวิธีการของวอลลิงฟอร์ดจึงแนะนำให้ใช้สมการของ Colebrook-White

2) <u>การคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำในท่อ</u> (Routing of free surface flows in sewers)

การคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำในท่อโดยวิธีชลภาพในโปรแกรม WALLRUS จะอาศัยวิธีของ Muskingum-Cunge ซึ่งมีสมการพื้นฐาน คือ

$$dS/dt = Q_{in} - Q_{out} \quad \text{.....(3-9)}$$

เมื่อ S เป็นปริมาณเก็บกักในท่อ คำนวณได้จาก

$$S = K_c[Q_{in} + (1- \varepsilon)Q_{out}] \quad \text{.....(3-10)}$$

ในที่นี้ K_c และ ε คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ และสัมประสิทธิ์สัดส่วน (storage and proportionality coefficient) ตามลำดับ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$K_c = L/\omega \quad \text{.....(3-11)}$$

$$\varepsilon = 1/2 [1 - \{Q_n/BL\omega S_o\}] \quad \text{.....(3-12)}$$

โดย Q_n, B และ ω คืออัตราการไหลที่ความลึกปกติ, ความกว้าง และความเร็วคลื่น (kinematic wave speed) ตามลำดับ ค่า Q_n คำนวณมาจากสมการของ Colebrook-White และค่า ω คำนวณมาจากสมการ

$$\omega = (1/B)(dQ/dh) \quad \text{.....(3-13)}$$

ในกรณีที่เกิดการไหลภายใต้ความดัน จะต้องคิดค่าการสูญเสียพลังงาน (losses) ซึ่งเกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ ความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ และความสูญเสียเนื่องจากความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ จากการสมมติว่าความสูญเสียใน

บ่อพักเป็นอัตราส่วนกับความเร็วการไหลในท่อ จะได้ว่า

$$\Delta h = \{(L\lambda/d)+k_m\}(V^2/2g) + (1/g)(dV/dt) \quad .....(3-14)$$

เมื่อ V = ความเร็วการไหลในท่อ

k_m = สัมประสิทธิ์การสูญเสียในบ่อพัก

λ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Darcy-Weisbach

$= 8gRs/V^2$

ค่าปริมาณเก็บกักในบ่อพักรวมกับปริมาณน้ำท่าพื้นผิวที่ขังอยู่เหนือบ่อพัก คำนวณได้จากสมการ

$$dS / dt = Q_{in} - Q_{out} \quad .....(3-15)$$

3) <u>การคำนวณการเคลื่อนตัวของน้ำในท่อ กรณีเกิดการไหลเอ่อ</u>
(Backwater effect)

การคำนวณโดยวิธีจำลองสภาพในโปรแกรม WALLRUS (HRL,1987) สามารถควบคุมกรณีระบบเกิดการไหลเอ่อ (backwater effect) ได้โดยอาศัยวิธีคำนวณการหลากของน้ำแบบไม่คิดแรงเฉื่อย ("non-inertia" routing technique) ตามสมการ

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{Q|Q|}{A^2F^2} = 0 \quad .....(3-16)$$

และ

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q}{B}\left[\frac{B}{A}\frac{1}{F}\frac{dF}{dh} - \frac{1}{2B}\frac{dB}{dh}\right]\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{A^2F^2}{2B|Q|}\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = 0 \quad .....(3-17)$$

สมการที่ (3-17) คือรูปของสมการ convection - diffusion ที่มีตัวแปรตามคือค่า Q จากสมการที่ (3-16) และ (3-17) เราสามารถคำนวณค่าอัตราการไหล (Q) และระดับน้ำ (h) ในท่อได้โดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ convectivity และ diffusivity (ค่า c และ d) ในสมการที่ (3-17) คือ

$$c = \frac{Q}{B}\left[\frac{B}{A} + \frac{1}{F}\frac{dF}{dh} - \frac{1}{2B}\frac{dB}{dh}\right] \quad .....(3-18)$$

$$d = \frac{A^2F^2}{2B|Q|} \quad .....(3-19)$$

มีค่าคงที่

3.3.4 การคำนวณปริมาณการไหลในโปรแกรม SPIDA

โปรแกรม SPIDA จะคำนวณปริมาณการไหลในท่อและทางน้ำ โดยคิดอิทธิพลน้ำไหลเอ่อด้วย การคำนวณจะใช้สมการการไหลแบบพลศาสตร์ หรือ สมการ Saint-Venant ซึ่งมีรูปสมการดังนี้

$$(\partial y/\partial t) + (1/B)(\partial Q/\partial x) = 0 \qquad \text{.....(3-20)}$$

$$(\partial Q/\partial t)+(\partial/\partial x)(Q^2/A)+gA(\partial y/\partial x)+gA(S_f-S_o) = 0 \qquad \text{.....(3-21)}$$

โดย (H,Q) = ค่าระดับและอัตราการไหลในทางน้ำ ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของระยะทาง (x) และเวลา (t)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

S_o = ความลาดชันก้นท่อ (bed slope)

S_f = ความลาดชันผิวน้ำ คำนวณจากสมการของ Colebrook-White

$$S_f = Q|Q|/K(y)^2 \qquad \text{.....(3-22)}$$

เมื่อ K(y) คือ conveyance function

$$K(y) = \sqrt{32gR(y)}\ A \log_{10}\left[\{k_s/14.8R(y)\}+\{2.51\nu/R(h)\sqrt{128gR(y)S_o}\}\right] \qquad \text{.....(3-23)}$$

ในที่นี้ R(y) = รัศมีชลศาสตร์

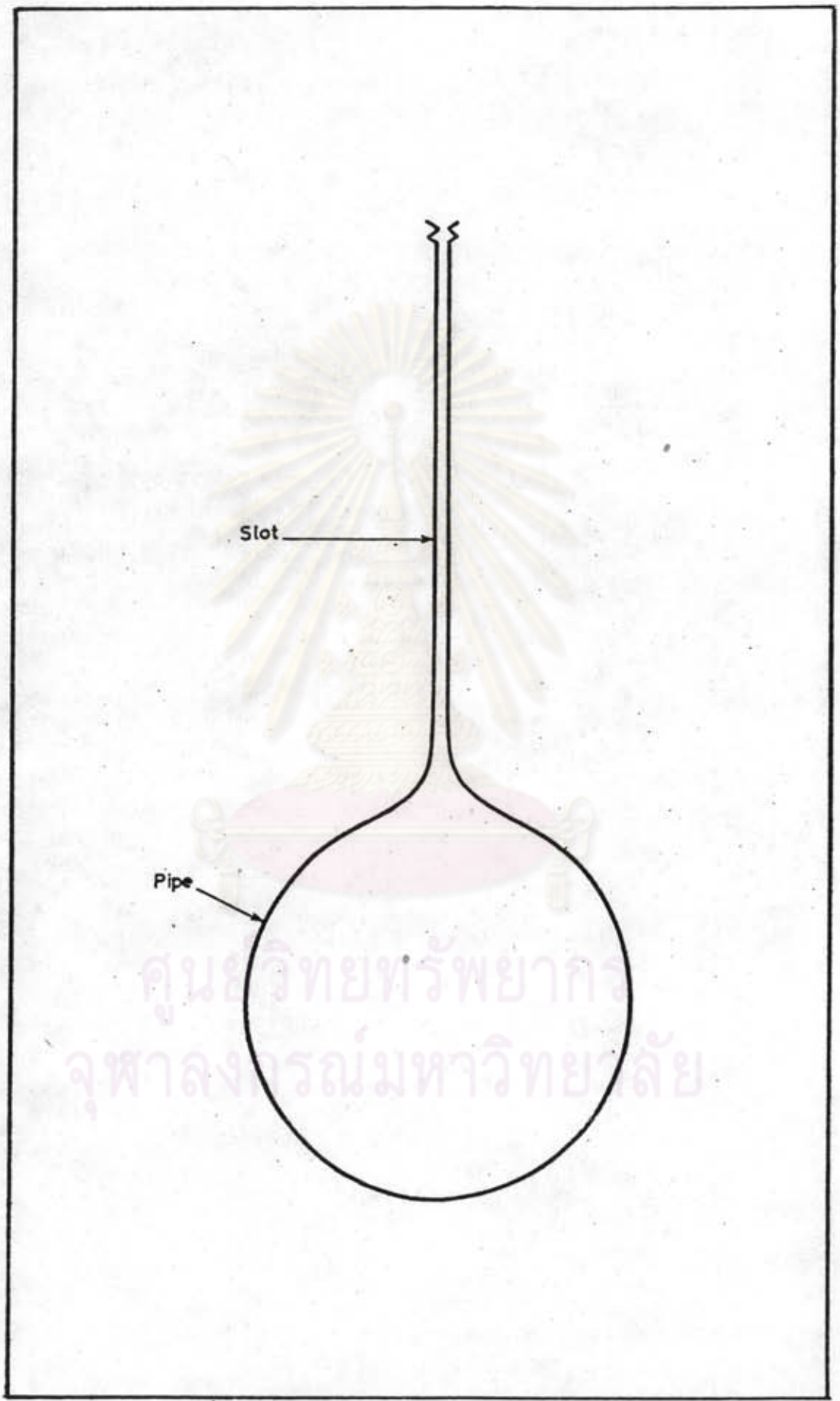
k_s = ความขรุขระของท่อ

ν = ค่าความหนืดจลนศาสตร์ (kinematic viscosity)

สมมติฐานที่ใช้ในการคำนวณตามสมการ Saint-Venant ได้แก่

1) เป็นการคำนวณการไหลในทิศทางเดียว
2) คิดการกระจายความเร็วแบบสม่ำเสมอ
3) ไม่คิดความเร่งในแนวดิ่ง
4) ความลาดชันในท่อมีค่าน้อยมาก

สำหรับการคำนวณกรณีเกิดการไหลภายใต้ความดัน (surcharge) จะใช้หลักการของ preissman slot (รูปที่ 3-6) ประกอบกับการคำนวณโดยอาศัยสมการของการไหลอิสระ (free



รูปที่ 3-6 หน้าตัดท่อแบบ Preissman Slot

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

surface flow) และการปรับค่าความกว้าง (B) จากสมการกฎการทรงมวล (สมการที่ 3-20) เป็น

$$B \longrightarrow gA_f/C_b^2$$

ในที่นี้ C_b = ความเร็วการไหลเต็มท่อ

A_f = พื้นที่หน้าตัดของท่อ

ทฤษฎีและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 3-4

รายละเอียดข้อมูลที่ต้องการใช้ในการศึกษาตามวิธีการวอลลิงฟอร์ด แสดงในภาคผนวก ก

รายละเอียดเพิ่มเติมวิธีการคำนวณและการแก้ไขปัญหาในการใช้โปรแกรม SPIDA แสดงอยู่ในภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-4 สรุปทฤษฎีและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

รายละเอียดการคำนวณ	โปรแกรม WALLRUS			โปรแกรม SPIDA
	วิธีหลักเหตุผล	วิธีชลภาพ	วิธีการจำลองสภาพ	
1) ปริมาณฝน	* กราฟความสัมพันธ์ความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝน	* รูปแบบการตกของฝนออกแบบ * กราฟบันทึกข้อมูลความลึกฝน (rainfall hyetographs)		
2) ปริมาณน้ำท่า	* วิธีแบบจำลองน้ำท่าของวอลลิงฟอร์ด * วิธีกำหนดค่าคงที่ของสัมประสิทธิ์น้ำท่า * วิธี SCS			
3) ปริมาณน้ำผิวดิน	* เวลาของการรวมตัว	* Linear reservoir model		
4) ปริมาณการไหลในท่อและทางน้ำ	* ปริมาณการไหลสูงสุด * ความเร็วการไหลเต็มท่อ	* วิธี Muskingum - Cunge	* วิธี Muskingum - Cunge * การไหลภายใต้ความดัน * อิทธิพลน้ำเอ่อ	* สมการการไหลแบบพลศาสตร์ (full dynamic equation)
5) อาคารโครงสร้างประกอบ	* ทางระบายน้ำล้น * ถังกักเก็บน้ำ	* ทางระบายน้ำล้น * เครื่องสูบน้ำ * ถังกักเก็บน้ำ	* ทางระบายน้ำล้น * เครื่องสูบน้ำ * ถังกักเก็บน้ำ * ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ * วาล์วเปิด-ปิด อัตโนมัติ	

3.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการวอลลิงฟอร์ด

ในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้วิธีการวอลลิงฟอร์ด ในการออกแบบและประเมินผลระบบระบายน้ำของพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยยกตัวอย่างกรณีศึกษาปรับปรุงระบบระบายน้ำในพื้นที่ทำการศึกษาเขตพญาไท บริเวณอนุสาวรีย์ชัยสมรภูมิ ในส่วนของการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำบนถนนศรีอยุธยาฝั่งตะวันออกระบายลงบึงมักกะสันเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมบนถนนศรีอยุธยา และเป็นการลดปริมาณน้ำที่จะระบายลงคลองสามเสน

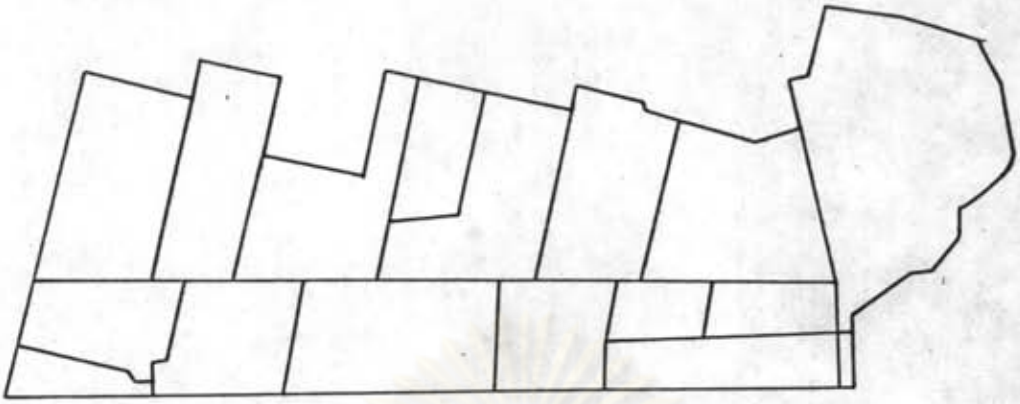
ข้อมูลตัวอย่างพื้นที่รับน้ำและระบบท่อระบายน้ำที่จะทำการปรับปรุง แสดงอยู่ในรูปที่ 3-7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

ในการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ จะใช้โปรแกรม WALLRUS ในส่วนของวิธีหลักเหตุผล เปรียบเทียบกับวิธีชลภาพ และตรวจสอบผลการออกแบบ โดยวิธีการจำลองสภาพ โดยใช้ปริมาณฝนออกแบบ และปริมาณฝนจริง ซึ่งมีรายละเอียดดังจะได้กล่าวต่อไป

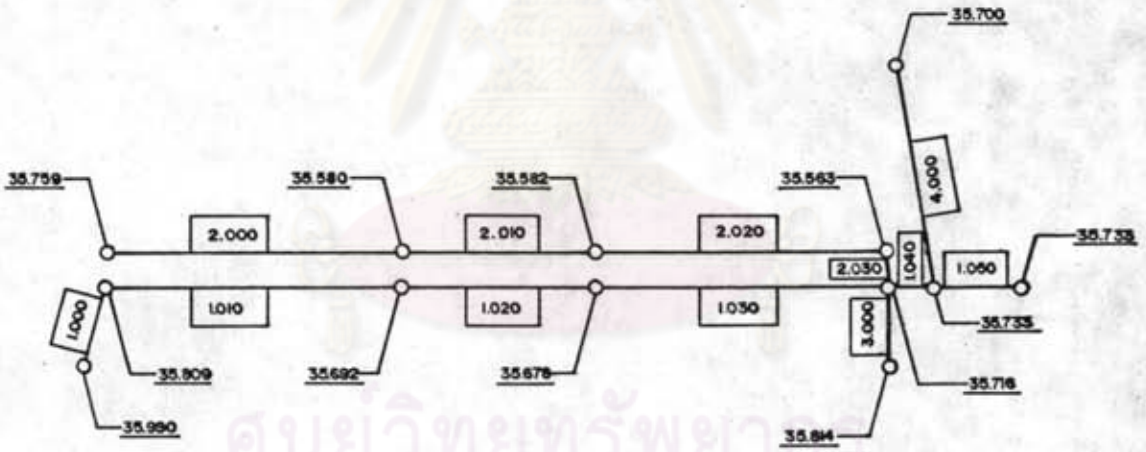
3.4.1 การออกแบบระบบระบายน้ำโดยวิธีหลักเหตุผล

จากข้อมูลระบบท่อระบายน้ำ ในรูปที่ 3-7 (ข) ทำการออกแบบระบบระบายน้ำ ให้รองรับปริมาณฝนออกแบบ ในรอบ 5 ปี ช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมง โดยการกำหนดข้อมูลค่าระดับพื้นดินด้านเหนือน้ำ ความยาวท่อ ขนาดพื้นที่รับน้ำย่อย รวมทั้งข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของประชากรเพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำเสียจากชุมชน การออกแบบกำหนดให้เป็นท่อสี่เหลี่ยม ในระบบท่อระบายน้ำหลัก และกำหนดให้เป็นท่อวงกลม ในระบบท่อแขนง โปรแกรมจะคำนวณขนาดและความลาดชัน ของท่อระบายน้ำให้ ดังแสดงผลในตารางที่ 3-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ตัวอย่างพื้นที่รับน้ำ



1.000 หมายเลขท่อระบายน้ำ 35.990 ค่าระดับพื้นดิน

(ข) ระบบระบายน้ำที่จะทำการปรับปรุง

รูปที่ 3-7 ตัวอย่างพื้นที่รับน้ำและระบบระบายน้ำที่จะทำการปรับปรุง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-6 ผลการออกแบบระบบระบายน้ำโดยวิธีหลักเหตุผล

WALLINGFORD STORM SEWER DESIGN AND ANALYSIS PACKAGE

Results output from program MicroRAT

Version 2.10 Jan 89

Licence Number - WS000701MW

The major dimension of each pipe sized in this run is not allowed to decrease downstream

Pipe roughness height = 1.50 mm

Time of entry = 10.00 mins

Minimum pipe full velocity = .75 m/s

Minimum dry weather flow velocity = .60 m/s

Pipe diameters in mm

600	675	750	825	900	975	1050	1125	1200	1275
1350	1425	1500	1575	1650	1725	1800	2000	2250	2500
2750	3000	3250	3500	4000					

Minimum diameter = 600 mm

Rainfall intensity-duration curve in mm/hr at 60 sec intervals:

193.200	183.500	174.800	166.800	159.600	152.900	146.800	141.200	135.900	131.100
126.600	122.300	118.400	114.700	111.200	107.900	104.900	101.900	99.200	96.600
94.100	91.800	89.500	87.400	85.300	83.400	81.600	79.800	78.100	76.500
74.900	73.400	72.000	70.600	69.200	68.000	66.700	65.500	64.400	63.300
62.200	61.200	60.200	59.200	58.300	57.300	56.500	55.600	54.800	54.000
53.200	52.400	51.700	51.000	50.300	49.600	48.900	48.300	47.700	47.000
46.500	.000								

Return period = 5 years

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-5 (ต่อ)

Storm Sewer Data

PIPE	PIPE LENGTH (m)	UPSTREAM GROUND LEVEL (mAD)	UPSTREAM PIPE LEVEL (mAD)	DOWNSTREAM PIPE LEVEL (mAD)	DOWNSTREAM GROUND LEVEL (mAD)	PIPE GRADIENT 1 in	PIPE SHAPE	MAJOR DIM (mm)	MINOR DIM (mm)	ROUGHNESS Ks (mm)	DESIGN FLOW (m3/s)	PIPE CAPACITY (m3/s)	FULL VELOCITY (m/s)	DESGN VELOCITY (m/s)	DWF VELOCITY (m/s)
1.000	60	35.99	35.390	35.342	35.99	1250	CIRC	600	0	1.5	.160	.235	.83	.89	.22
1.010	280	35.81	35.210	35.090	35.81	2333	RECT	825	825	1.5	.470	.494	.73	.84	.19
1.020	250	35.69	35.090	35.037	35.69	4717	RECT	1425	1425	1.5	1.316	1.425	.70	.80	.20
1.030	290	35.68	35.037	34.979	35.68	5000	RECT	1500	1500	1.5	1.518	1.580	.70	.81	.22
2.000	280	35.76	35.160	35.090	35.76	4000	RECT	1275	1275	1.5	1.150	1.162	.71	.83	.19
2.010	250	35.58	34.980	34.928	35.58	4808	RECT	1500	1500	1.5	1.474	1.615	.72	.82	.20
2.020	290	35.58	34.928	34.870	35.58	5000	RECT	1800	1800	1.5	2.401	2.557	.79	.91	.24
2.030	30	35.56	34.870	34.864	35.56	5000	RECT	2000	2000	1.5	2.891	3.377	.84	.95	.25
3.000	60	35.81	35.210	35.182	35.81	2143	CIRC	900	0	1.5	.422	.511	.80	.90	.23.
1.040	30	35.72	34.864	34.858	35.72	5003	RECT	2500	2500	1.5	4.634	6.076	.97	1.07	.28
4.000	250	35.70	35.100	35.040	35.70	4167	CIRC	1500	0	1.5	1.246	1.371	.78	.88	.25
1.050	250	35.73	34.858	34.850	35.73	4998	RECT	2500	2500	1.5	5.563	6.079	.97	1.11	.30

Flow data

PIPE	AREA (ha)	% PAVED	SURFACE INDEX		CUMM AREA	% RUNOFF	NO OF HOUSE	POPU-LATION	INDUS DICHG (l/s)	FOUL DWF (l/s)	INFIL (l/s)	TOTAL DWF (m3/s)	TIME OF CONC UP (min)	TIME OF CONC DOWN (min)	FLOW TIME (min)	RAIN FALL (mm/hr)	STORM PEAK (m3/s)	DESIGN FLOW (m3/s)
1.000	.53	60	5	2	.5	67.0	18	90	.0	.2	.0	.000	10.0	11.2	1.2	125.70	.159	.160
1.010	1.38	60	5	2	1.9	67.0	48	240	.0	.6	.0	.001	11.2	17.6	6.4	103.00	.469	.470
1.020	4.37	60	5	2	6.3	67.0	152	760	.0	1.8	.0	.003	17.6	23.6	5.9	88.30	1.314	1.316
1.030	2.16	60	5	2	8.4	67.0	75	375	.0	.9	.0	.003	23.6	30.5	6.9	75.80	1.515	1.518
2.000	4.56	60	5	2	4.6	67.0	159	795	.0	1.8	.0	.002	10.0	16.5	6.5	106.30	1.148	1.150
2.010	2.27	60	5	2	6.8	67.0	79	395	.0	.9	.0	.003	16.5	22.3	5.8	91.00	1.472	1.474
2.020	6.02	60	5	2	12.9	67.0	210	1050	.0	2.4	.0	.005	22.3	28.5	6.1	79.00	2.396	2.401
2.030	2.85	60	5	2	15.7	67.0	99	495	.0	1.1	.0	.006	28.5	29.0	.6	78.00	2.885	2.891
3.000	1.41	60	5	2	1.4	67.0	49	245	.0	.6	.0	.001	10.0	11.2	1.2	125.60	.422	.422
1.040	.77	60	5	2	26.3	67.0	26	130	.0	.3	.0	.011	30.5	31.0	.5	74.90	4.623	4.634
4.000	4.78	60	5	2	4.8	67.0	167	835	.0	1.9	.0	.002	10.0	15.4	5.4	110.00	1.244	1.246
1.050	1.00	60	5	2	32.1	67.0	35	175	.0	.4	.0	.013	31.0	31.7	.7	73.90	5.550	5.563

MicroRAT completed O.K.

3.4.2 การออกแบบขนาดท่อระบายน้ำโดยวิธีชลภาพ

วิธีชลภาพ สามารถออกแบบขนาดท่อระบายน้ำและทางน้ำเปิด ที่มีการวางแนวไว้ก่อนแล้ว ในการออกแบบนี้ จึงใช้ค่าระดับท่อระบายน้ำ ที่ได้จากผลการออกแบบโดยวิธีหลักเหตุผล โปรแกรมจะคำนวณขนาดท่อระบายน้ำ เพื่อให้รองรับอัตราการไหลสูงสุด โดยที่ไม่เกิดน้ำท่วมหลังท่อ (surcharge) การออกแบบ โดยกำหนดความสูงของท่อ (minor dimension) โปรแกรมจะคำนวณความกว้างท่อ (major dimension) ให้ ได้ผลดังแสดงอยู่ในตารางที่ 3-6 ซึ่งเป็นผลการคำนวณปริมาณน้ำที่ทุก ๆ ช่วงเวลา (time step) ของแต่ละท่อ โดยยกตัวอย่างเฉพาะการคำนวณขนาดท่อที่จุดทางออก คือท่อหมายเลข 1.050 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า แสดงอยู่ในรูปที่ 3-8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-6 ผลการออกแบบขนาดท่อระบายน้ำโดยวิธีชลภาพ

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan (Hydrograph Method) WS000701MW Produced 12/ 5/1989 Pg 1

Wallingford storm sewer design and analysis package

Results output from WALLHYD mark 1.10 dated Jan 89

Licence Number WS000701MW

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan (Hydrograph Method)

Simulation time	= 180 mins
Global roughness length	= 1.50 mm
Global dry weather flow	= .0000 cumecs/m
Time of entry	= 10.0 min (for reference only)
Minimum diameter	= .15 mm
Minimum velocity	= .75 m/s
Number of events tested	= 1
Time step	= 30 secs

Standard pipe diameters in mm :

150	225	300	375	450	525	600	675	750	825
900	975	1050	1125	1200	1275	1350	1425	1500	1575
1650	1725	1800	1875	2000					

Total paved area (ha)	19.2600
Total permeable area (ha)	12.8400
Total roof area (ha)	.0000

The complete system is being designed.
The design diameter is not allowed to decrease downstream.

A new sewer system data file is being generated with this run of the program.

Chosen gauge pipes: 1.000 1.050

***** Rainfall data for event number 1 *****

RAINFALL HYETOGRAPH DURATION 2 HOURS, RETURN PERIOD 5 YEARS (RAIN2-5.RED)

Urban catchment wetness index	= .00
Antecedent rainfall depth (mm)	= 99.00
Program defined areal reduction factor	= 1.00
Rainfall time step (s)	= 120
Number of time steps	= 61

Rainfall (mm/hr) :

11.170	12.073	13.196	14.496	15.992	17.742	19.787	22.212	25.115	28.623
32.928	38.275	45.036	53.772	65.327	81.042	103.215	135.914	187.080	169.213
148.430	130.706	115.917	103.496	92.980	83.980	76.231	69.509	63.638	58.474
53.921	49.880	46.269	43.043	40.144	37.531	35.162	33.006	31.043	29.253
27.615	26.109	24.725	23.442	22.260	21.170	20.151	19.212	18.325	17.507
16.741	16.025	15.350	14.724	14.131	13.567	13.042	12.549	12.085	11.643
11.220									

Total rainfall volume/unit area = 93.55 mm

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-6 (ต่อ)

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan (Hydrograph Method) WS000701MW Produced 12/ 5/1989 Pg 5

Pipe number	Length (m)	Gradient 1 in	Imp area (ha)	Major dimension (mm)	Minor dimension	Shape index	U/ Peak discharge (cumecs)	D/S Peak discharge (cumecs)	P.Full discharge (cumecs)	P.Full velocity (m/s)	Time of conc (mins)	Total area (ha)	Total dwf (cumecs)
1.050	250	10000##	.600	3799	2500.00	2(1)	5.599	5.181	5.599**	.59++	42.7	32.100	.005

Cumulative paved area (ha)	19.26
Cumulative roof area (ha)	.00
Cumulative permeable area (ha)	12.84
Volume of rainfall (cu.m)	30028.69
Volume of rainfall runoff (cu.m)	18918.54
Volume of dry weather flow (cu.m)	54.00
Total volume of runoff (cu.m)	18972.54
Volume of water through pipe (cu.m)	18960.91

The number in brackets is the number of the event on which the pipe is sized.

A ++ beside the pipe full velocity denotes a value which is less than the specified minimum.

A ** beside the pipe full discharge denotes that the pipe is surcharged.

A ## beside the inverse gradient denotes that the gradient is too small.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

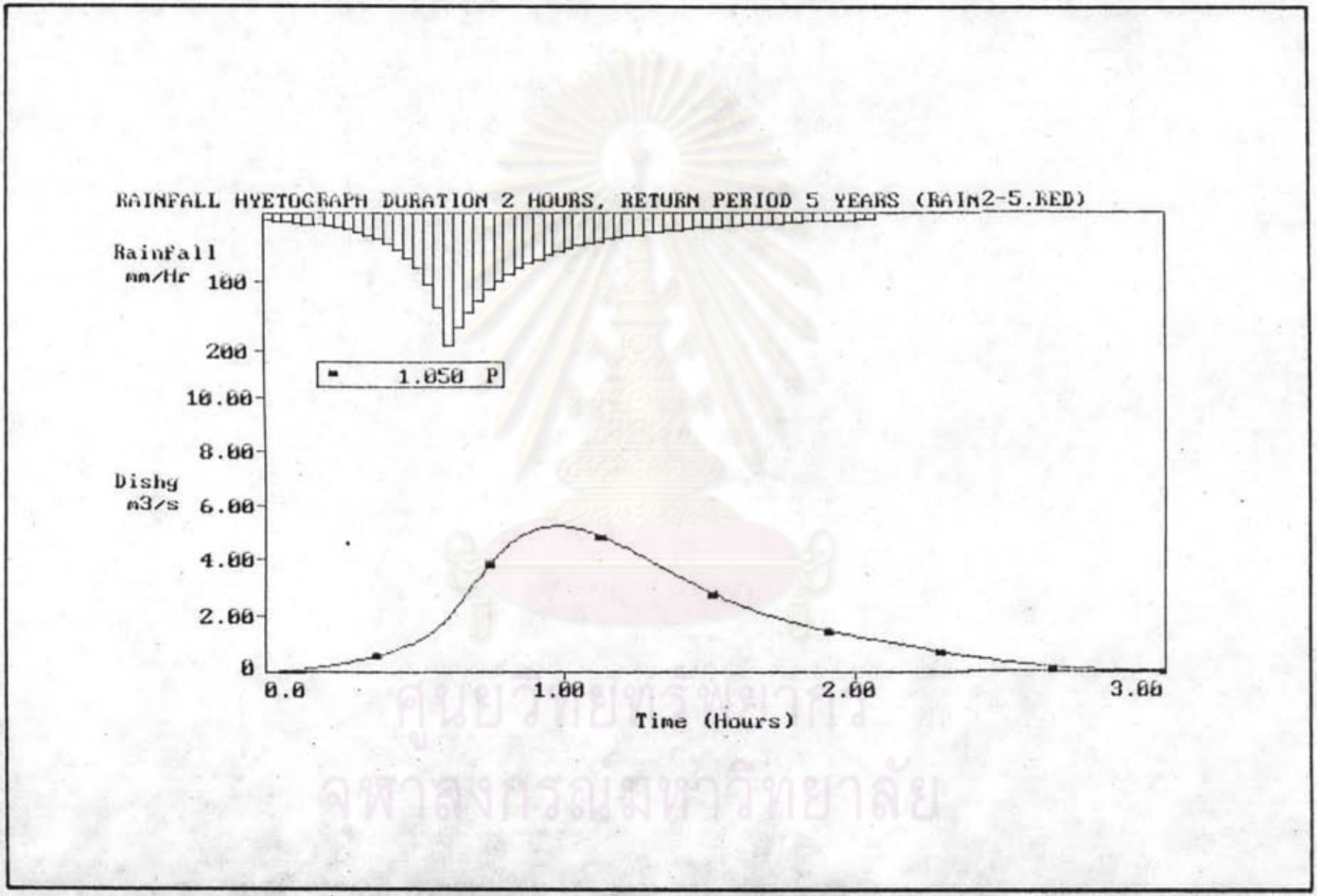
ตารางที่ 3-6 (ต่อ)

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan (Hydrograph Method) WS000701MW Produced 12/ 5/1989 Pg 6

Hydrograph for pipe no. 1.050
Discharge hydrograph in cumecs at 30 sec increments

.005	.006	.008	.010	.014	.017	.021	.026	.031	.036
.043	.049	.056	.064	.072	.080	.089	.099	.109	.119
.130	.141	.152	.164	.177	.190	.203	.217	.231	.245
.261	.276	.292	.308	.325	.342	.360	.378	.397	.417
.436	.457	.478	.500	.522	.545	.569	.594	.619	.645
.673	.701	.730	.761	.793	.827	.861	.897	.935	.975
1.016	1.060	1.107	1.155	1.205	1.260	1.319	1.381	1.444	1.515
1.592	1.673	1.756	1.852	1.958	2.069	2.184	2.299	2.416	2.535
2.657	2.776	2.894	3.013	3.133	3.249	3.362	3.474	3.586	3.692
3.796	3.897	3.996	4.090	4.179	4.266	4.350	4.429	4.504	4.575
4.642	4.705	4.763	4.818	4.869	4.916	4.958	4.997	5.032	5.063
5.089	5.113	5.133	5.149	5.162	5.171	5.178	5.181	5.180	5.177
5.172	5.163	5.151	5.137	5.121	5.103	5.081	5.058	5.033	5.006
4.977	4.946	4.914	4.880	4.844	4.808	4.770	4.730	4.689	4.648
4.605	4.562	4.518	4.473	4.427	4.381	4.334	4.286	4.239	4.190
4.142	4.093	4.044	3.995	3.946	3.896	3.847	3.798	3.749	3.700
3.651	3.602	3.553	3.505	3.457	3.409	3.361	3.314	3.267	3.221
3.175	3.129	3.084	3.039	2.995	2.951	2.908	2.865	2.823	2.781
2.740	2.699	2.659	2.619	2.580	2.541	2.503	2.465	2.429	2.392
2.356	2.321	2.286	2.252	2.218	2.185	2.153	2.121	2.089	2.058
2.027	1.998	1.968	1.939	1.911	1.883	1.855	1.828	1.802	1.776
1.750	1.725	1.700	1.676	1.652	1.629	1.606	1.584	1.561	1.540
1.518	1.497	1.477	1.457	1.437	1.418	1.398	1.380	1.361	1.343
1.326	1.308	1.291	1.274	1.258	1.242	1.226	1.210	1.195	1.180
1.165	1.151	1.136	1.122	1.109	1.094	1.079	1.063	1.047	1.031
1.015	.998	.982	.965	.948	.932	.915	.898	.880	.863
.846	.829	.812	.795	.778	.761	.744	.727	.710	.694
.677	.661	.644	.628	.613	.597	.581	.566	.551	.536
.522	.507	.493	.479	.465	.452	.439	.426	.413	.400
.388	.376	.365	.353	.342	.331	.320	.310	.300	.290
.280	.271	.262	.253	.244	.235	.227	.219	.211	.204
.197	.189	.183	.176	.169	.163	.157	.151	.145	.140
.135	.129	.124	.120	.115	.110	.106	.102	.098	.094
.090	.087	.083	.080	.077	.073	.070	.068	.065	.062
.060	.057	.055	.053	.050	.048	.046	.044	.043	.041
.039	.037	.036	.034	.033	.032	.030	.029	.028	.027
.026									

End of run 1 mins (elapsed) Produced on 12/ 5/1989 Last page



รูปที่ 3-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่า โดยวิธีชลภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.3 การประเมินผลสภาพระบบระบายน้ำที่ออกแบบไว้ โดยวิธีการจำลองสภาพ

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีหลักเหตุผล และวิธีชลภาพ จะพบว่าค่าระดับท่อระบายน้ำที่ออกแบบที่จุดทางออก (outfall) มีค่า 34.85 ม. ซึ่งต่ำกว่าค่าระดับน้ำในคลองซึ่งสมมติไว้ตามเกณฑ์การออกแบบ (หัวข้อ 5.2) ที่ระดับ 35.03 ม. หรือ 0.00 ม.(รทก.) เพื่อให้เป็นการระบายน้ำออกด้วยแรงโน้มถ่วง ในการประเมินผลสภาพระบบระบายน้ำที่ออกแบบไว้นี้ จึงทำการปรับค่าระดับใหม่ และปรับขนาดท่อระบายน้ำให้เหมาะสมกับขนาดตามท้องตลาด ในการตรวจสอบผลโดยวิธีการจำลองสภาพ ใช้ปริมาณฝนออกแบบในรอบ 5 ปีที่มีช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-7 และ 3-8 สำหรับวิธีการจำลองสภาพ ส่วนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่า มีปริมาณน้ำท่วมสูงสุด 0-2 เซนติเมตร ในบางท่อเท่านั้น จึงถือได้ว่า ผลการออกแบบนี้สามารถรับปริมาณฝนออกแบบในรอบ 5 ปีได้

เพื่อเป็นการตรวจสอบผลการวิเคราะห์สภาพระบบระบายน้ำ โดยใช้ปริมาณฝนออกแบบจึงได้ทำการประเมินสภาพระบบระบายน้ำอีกครั้ง โดยพิจารณาคัดเลือกกราฟบันทึกข้อมูลความลึกฝนวันที่ 5-6 กันยายน พ.ศ. 2509 ที่มีปริมาณฝนใกล้เคียงกับปริมาณฝนออกแบบในรอบ 5 ปี ที่มีช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมง (ดูรายละเอียดในบทที่ 4) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3-9 ซึ่งจะพบว่ามีปริมาณน้ำท่วมสูงสุด 1-3 มิลลิเมตรเท่านั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบท่อระบายน้ำที่ออกแบบไว้สามารถรองรับปริมาณฝนออกแบบ และปริมาณฝนจริง ในรอบ 5 ปี ที่มีช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมงได้

กราฟแสดงปริมาณและระดับน้ำที่จุดทางออก แสดงอยู่ในรูปที่ 3-9 และ 3-10 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-7 ผลการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำโดยวิธีการจำลองสภาพส่วนที่ 1

Start of run configured for IBM AT Produced on 12/ 5/1989 at 19:12

BUNG.SSD

********** SSD data **********

```
     :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :
1    Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan                                  1
2    1       0                          30 0.15    1.500    0.005       TT   02
3      1.000 0   60 35.99 35.390 35.342   600     0 1.5          .53603052   18
4      1.010 0  280 35.81 35.210 35.090  1000 10002 1.5         1.38603052   18
5      1.020 0  250 35.69 35.090 35.037  1200 12002 1.5         4.37603052   18
6      1.030 0  290 35.68 35.037 34.979  1500 15002 1.5         2.16603052   18
7      2.000 0  280 35.76 35.160 35.090  1200 12002 1.5         4.56603052   18
8      2.010 0  250 35.58 34.980 34.928  1500 15002 1.5         2.27603052   18
9      2.020 0  290 35.58 34.928 34.870  2000 20002 1.5         6.02603052   18
10     2.030 0   30 35.56 34.870 34.864  2000 20002 1.5         2.85603052   18
11     3.000 0   60 35.81 35.210 35.182   800     0 1.5         1.41603052   18
12     1.040 0   30 35.72 34.864 34.858  2000 20002 1.5          .77603052   18
13     4.000 0  250 35.70 35.100 35.040  1000     0 1.5         4.78603052   18
14     1.050 0  250 35.73 34.858 34.850  2000 20002 1.5         1.00603052   18
15    -1          35.73 34.850                                               15
     :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-7 (ต่อ)

Wallingford storm sewer design and analysis package

Results output from WALLRUS mark 1.10 dated Jan 89

Licence Number - WS000701MW

Global soil index	= .15
Global roughness height	= 1.50 mm
Global sediment roughness height	= 50.00 mm
Global dry weather flow	= .000002 cumecs/m

Total paved area (ha)	19.2600
Total roof area (ha)	.0000
Total permeable area (ha)	12.8400

Time step = 30 secs

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-7 (ต่อ)

********** Pipe data **********

Node No.	D.Node No.	Pipe No.	Pipe Length (m)	U.Ground Level (mod)	Sed Depth (m)	U.Soffit Level (mod)	D.Soffit Level (mod)	Pipe Gradient	Pipe Dim (mm)	P.Full Discharge (cumecs)	Manhole Area (sq.m)	Paved Area (ha)	Roof Area (ha)	Perv Area (ha)	Surface Indices	Ground Slope	Dry W. Flow (Cumecs)
1	2	1.000	60	35.99	.000	35.390	35.342	.0008	600	.172	1.457	.3180	.0000	.2120	5 20 12	.0030	.000
2	3	1.010	280	35.81	.000	35.210	35.090	.0004	1000(2)	.616	2.000	.8280	.0000	.5520	5 20 12	.0004	.001
3	4	1.020	250	35.69	.000	35.090	35.037	.0002	1200(2)	.697	2.000	2.6220	.0000	1.7480	5 20 12	.0000	.001
4	10	1.030	290	35.68	.000	35.037	34.979	.0002	1500(2)	1.218	2.000	1.2960	.0000	.8640	5 20 12	.0001	.002
5	6	2.000	280	35.76	.000	35.160	35.090	.0002	1200(2)	.758	2.000	2.7360	.0000	1.8240	5 20 12	.0006	.001
6	7	2.010	250	35.58	.000	34.980	34.928	.0002	1500(2)	1.242	2.000	1.3620	.0000	.9080	5 20 12	.0000	.001
7	8	2.020	290	35.58	.000	34.928	34.870	.0002	2000(2)	2.593	2.000	3.6120	.0000	2.4080	5 20 12	.0001	.002
8	10	2.030	30$	35.56	.000	34.870	34.864	.0002	2000(2)	2.593	2.000	1.7100	.0000	1.1400	5 20 12	.0053	.002
9	10	3.000	60	35.81	.000	35.210	35.182	.0005	800	.280	1.916	.8460	.0000	.5640	5 20 12	.0015	.000
10	12	1.040	30$	35.72	.000	34.864	34.858	.0002	2000(2)	2.592	2.000	.4620	.0000	.3080	5 20 12	.0003	.004
11	12	4.000	250	35.70	.000	35.100	35.040	.0002	1000	.361	2.000	2.8680	.0000	1.9120	5 20 12	.0001	.001
12	13	1.050	250	35.73	.000	34.858	34.850	.0000	2000(2)	1.826	2.000	.6000	.0000	.4000	5 20 12	.0000	.005

The cumulative dry weather flow assumes no diversion of flow at overflows.

The number in brackets is the pipe shape index.

Note that the diameter for these pipes refers to the height of the pipe or depth of channel.

A $ after pipe length indicates that the length of this pipe is too short and may cause any pressurised flow calculations involving this pipe to be inaccurate.

Outfalls at nodes 13

End of run 1 mins (elapsed) Produced on 12/ 5/1989 Last page

ตารางที่ 3-8 ผลการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำโดยวิธีการจำลองสภาพส่วนที่ 2

Start of run configured for IBM AT Produced on 12/ 5/1989 at 19:18

BUNG.SSD
SRAIN2-5.RED
BUNG2-5.PRN
BUNG.BIN
BUNG2-5.HYQ
BUNG2-5.HYD

Write parameter	0
Simulation time (mins)	180
Surcharge time increment (s)	1.00
Results timestep (s)	60
Pollution to be considered	F

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-8 (ต่อ)

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan WS000701MW Produced 12/ 5/1989 Pg 1

********** Summary of results **********

Total volume of runoff and dry weather flow = 18955.1 cu.m
Volume through outfalls = 19459.5 cu.m
Volume lost from manholes = .0 cu.m

Node No.	Pipe number	Ground elevation (mod)	Sediment depth (m)	Maximum elevation (mod)	Maximum depth (m)	Maximum velocity (m/s)	U.Soffit elevation (mod)	D.Soffit elevation (mod)	Maximum fl.volm (cu.m)	Maximum fl.depth (m)	Flooded area (sq.m)	Total area (ha)	P.Full discharge (cumecs)	Maximum discharge (cumecs)
1	1.000	35.99	.000	35.990	.600	.866	35.390	35.342	.3	.000	1590.0	.3180	.172	.164
2	1.010	35.81	.000	35.811	.601	.707	35.210	35.090	5.8	.001	4140.0	.8280	.616	.589
3	1.020	35.69	.000	35.706	.616	1.217	35.090	35.037	205.5	.016	13110.0	2.6220	.697	1.752
4	1.030	35.68	.000	35.680	.643	.925	35.037	34.979	.3	.000	6480.0	1.2960	1.218	2.081
5	2.000	35.76	.000	35.762	.602	.813	35.160	35.090	23.6	.002	13680.0	2.7360	.758	1.170
6	2.010	35.58	.000	35.592	.612	.905	34.980	34.928	84.1	.012	6810.0	1.3620	1.242	2.037
7	2.020	35.58	.000	35.530	.602	.816	34.928	34.870	.0	.000	.0	3.6120	2.593	3.266
8	2.030	35.56	.000	35.485	.615	.999	34.870	34.864	.0	.000	.0	1.7100	2.593	3.996
9	3.000	35.81	.000	35.484	.274	.930	35.210	35.182	.0	.000	.0	.8460	.280	.411
10	1.040	35.72	.000	35.464	.600	1.622	34.864	34.858	.0	.000	.0	.4620	2.592	6.489
11	4.000	35.70	.000	35.712	.612	1.505	35.100	35.040	177.5	.012	14340.0	2.8680	.361	1.182
12	1.050	35.73	.000	35.395	.537	1.920	34.858	34.850	.0	.000	.0	.6000	1.826	7.679

**** WARNING **** Some pipes in the system have a gradient less than 0.001 and therefore free surface backwater effects may be important. Consequently the simulation results might be inaccurate unless the free surface flag is set for the shallow pipes.

NOTE :

(i) maximum elevations, depths, volumes, velocities and discharges are selected from the values at each major time increment and will in general be more extreme than the maximum values in the hydrograph files.

(ii) maximum elevations, velocities and discharges are not necessarily calculated at the same time.

(iii) maximum velocity is not calculated for a pipe if either the depth does not exceed 0.01 m or the discharge does not exceed 0.0009 m^3/s.

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan WS000701MW Produced 12/ 5/1989 Pg 2

End of run 2 mins (elapsed) Produced on 12/ 5/1989 Last page

ตารางที่ 3-9 ผลการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำโดยใช้กราฟบันทึกข้อมูลความลึกฝน

Start of run configured for IBM AT Produced on 14/ 4/1989 at 16:39

BUNG.SSD
RAIN95MM.RED
BUNG95MM.PRN
BUNG.BIN
BUNG95MM.HYQ
BUNG95MM.HYD

Write parameter	0
Simulation time (mins)	180
Surcharge time increment (s)	1.00
Results timestep (s)	60
Pollution to be considered	F

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-9 (ต่อ)

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan WS000701MW Produced 14/ 4/1989 Pg 1

********** Summary of results **********

Total volume of runoff and dry weather flow = 19313.1 cu.m
Volume through outfalls = 19746.9 cu.m
Volume lost from manholes = .0 cu.m

Node No.	Pipe number	Ground elevation (mod)	Sediment depth (m)	Maximum elevation (mod)	Maximum depth (m)	Maximum velocity (m/s)	U.Soffit elevation (mod)	D.Soffit elevation (mod)	Maximum fl.volm (cu.m)	Maximum fl.depth (m)	Flooded area (sq.m)	Total area (ha)	P.Full discharge (cumecs)	Maximum discharge (cumecs)
1	1.000	35.99	.000	35.990	.600	.888	35.390	35.342	.0	.000	1590.0	.3180	.172	.146
2	1.010	35.81	.000	35.810	.600	.672	35.210	35.090	1.6	.000	4140.0	.8280	.616	.452
3	1.020	35.69	.000	35.691	.601	1.001	35.090	35.037	8.7	.001	13110.0	2.6220	.697	1.441
4	1.030	35.68	.000	35.681	.644	.857	35.037	34.979	8.1	.001	6480.0	1.2960	1.218	1.929
5	2.000	35.76	.000	35.760	.600	.713	35.160	35.090	.7	.000	13680.0	2.7360	.758	1.027
6	2.010	35.58	.000	35.582	.602	.688	34.980	34.928	16.6	.002	6810.0	1.3620	1.242	1.548
7	2.020	35.58	.000	35.580	.652	.743	34.928	34.870	.1	.000	18060.0	3.6120	2.593	2.890
8	2.030	35.56	.000	35.560	.690	.886	34.870	34.864	1.1	.000	8550.0	1.7100	2.593	3.545
9	3.000	35.81	.000	35.359	.149	.941	35.210	35.182	.0	.000	.0	.8460	.280	.325
10	1.040	35.72	.000	35.487	.623	1.492	34.864	34.858	.0	.000	.0	.4620	2.592	5.967
11	4.000	35.70	.000	35.703	.603	1.383	35.100	35.040	38.7	.003	14340.0	2.8680	.361	1.086
12	1.050	35.73	.000	35.421	.563	1.791	34.858	34.850	.0	.000	.0	.6000	1.826	7.163

**** WARNING **** Some pipes in the system have a gradient less than 0.001 and therefore free surface backwater effects may be important. Consequently the simulation results might be inaccurate unless the free surface flag is set for the shallow pipes.

NOTE :

(i) maximum elevations, depths, volumes, velocities and discharges are selected from the values at each major time increment and will in general be more extreme than the maximum values in the hydrograph files.

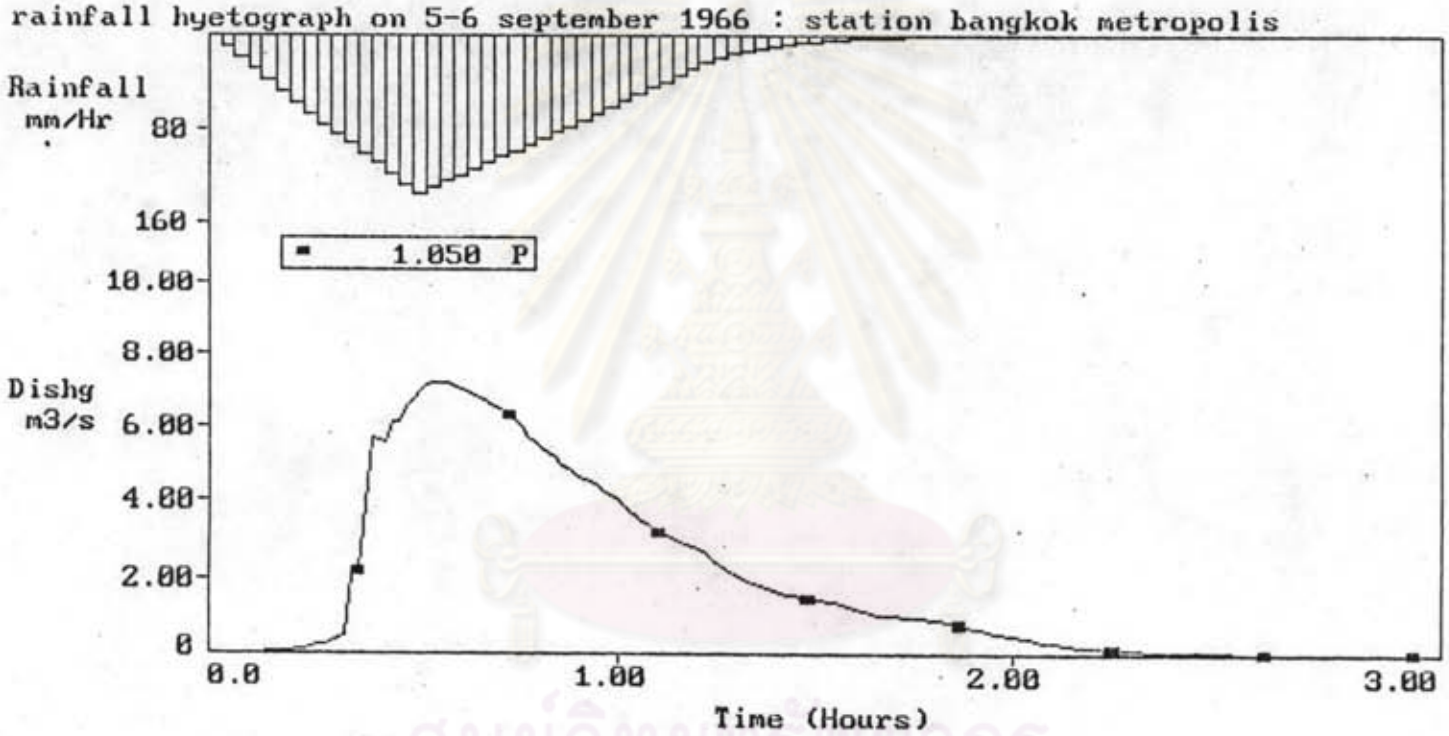
(ii) maximum elevations, velocities and discharges are not necessarily calculated at the same time.

(iii) maximum velocity is not calculated for a pipe if either the depth does not exceed 0.01 m or the discharge does not exceed 0.0009 m^3/s.

Drain Sri Ayudhya road to Bung Makkasan WS000701MW Produced 14/ 4/1989 Pg 2

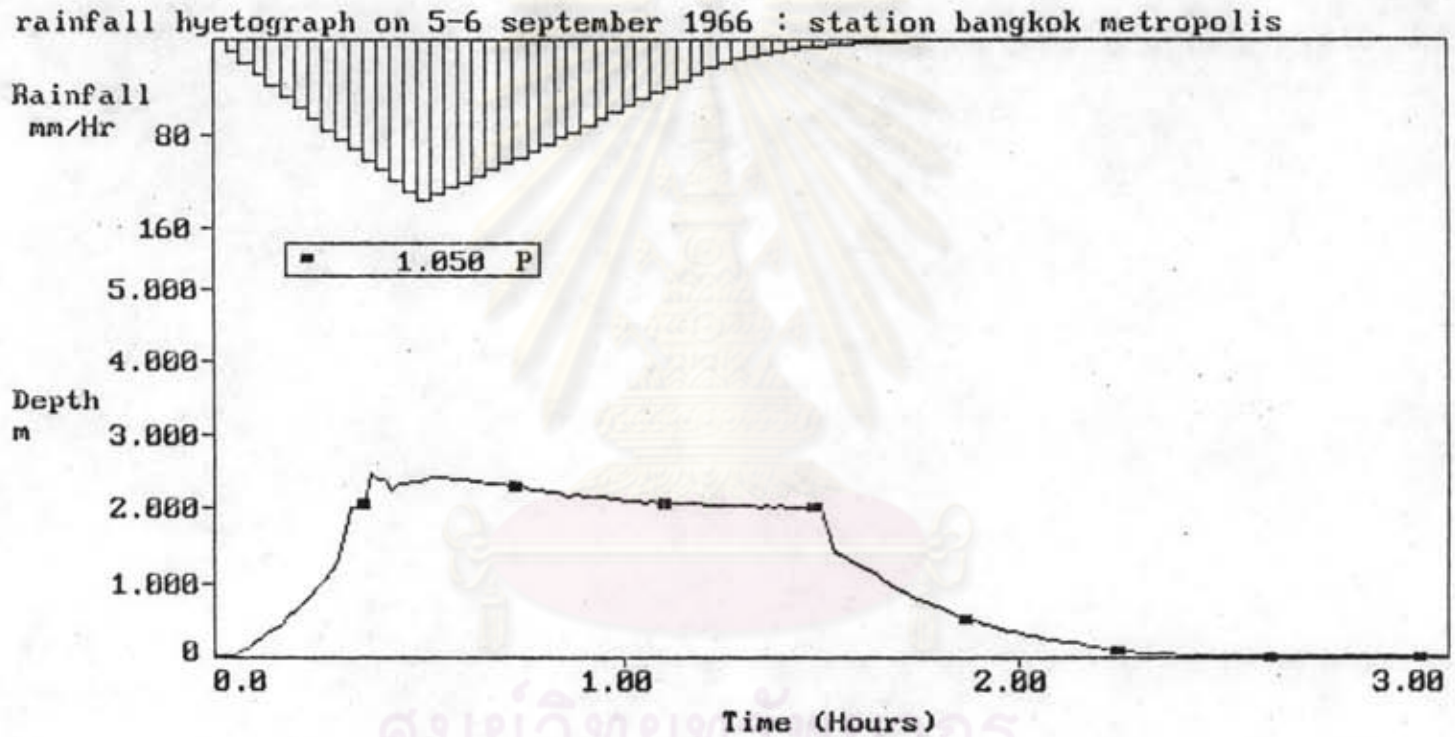
End of run 3 mins (elapsed) Produced on 14/ 4/1989 Last page

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3-9 กราฟแสดงปริมาณน้ำโดยวิธีการจำลองสภาพ



รูปที่ 3-10 กราฟแสดงระดับน้ำโดยวิธีการจำลองสภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย