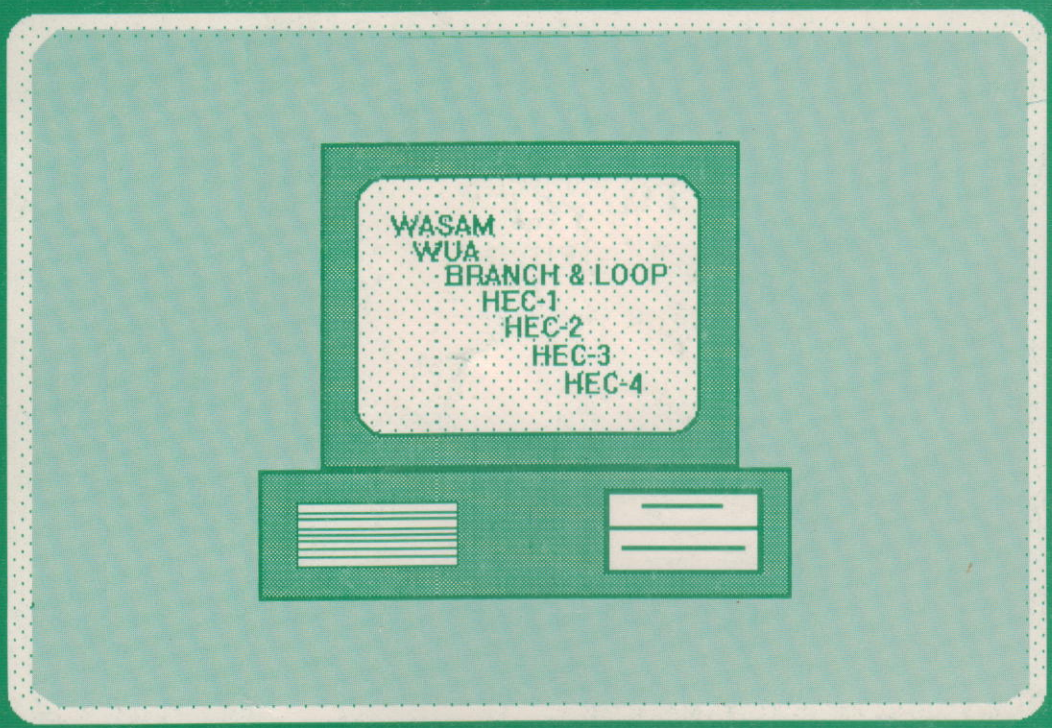
การประยุกต์คอมพิวเตอร์สำหรับวิศวกรรมชลประทาน

(Computer Application for Irrigation Engineering)



รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

2538

คำนำ

เอกสารชุดนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้เป็นตำราสำหรับวิชา 207451 การประยุกต์คอมพิวเตอร์สำหรับวิศวกรรมชลประทาน (Computer Application for Irrigation Engineering) ซึ่งเป็นวิชาบังคับในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทานเนื้อหาของตำราชุดนี้เกี่ยวกับ หลักการทางทฤษฎีและวิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์ ออกแบบ และการจัดการงานทางด้านวิศวกรรมชลประทาน ซึ่งประกอบไปด้วยโปรแกรมต่าง ๆ ดังนี้

- WASAM
- WUA
- BRANCH 3.0 และ LOOP 4.0
- HEC-1
- HEC-2
- HEC-3
- HEC-4

ในแต่ละบทจะมีบทปฏิบัติการท้ายบทเพื่อให้นิสิตฝึกฝนการใช้โปรแกรมต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยและสามารถนำเอาไปใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมชลประทานจริง ๆ ได้

ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำราชุดนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิตที่เรียนวิชานี้และต่อวิศวกรชลประทานที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการ วิเคราะห์ ออกแบบ และการจัดการงานทางวิศวกรรมชลประทาน

สุดท้ายผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน ที่ได้สนับสนุนผู้เขียนจนสามารถเขียนตำราชุดนี้จนแล้วเสร็จ

ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์
รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เมษายน 2538

สารบัญ

		หน้า
	หน้าปก	I
	คำนำ	II
	สารบัญ	III
บทที่ 1	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้น้ำของโครงการชลประทาน	1-1
	1.1 คำนำ	1-1
	1.2 สูตรที่ใช้ในโปรแกรม	1-1
	1.3 โครงสร้างของโปรแกรม WUA	1-3
	1.4 อาคารควบคุมน้ำชลประทาน	1-5
	1.5 การใช้โปรแกรม WUA ในโครงการชลประทานลำปาว	1-6
	1.5.1 ข้อมูลการใช้น้ำของพืช	1-6
	1.5.2 ข้อมูลฝนใช้การ	1-6
	1.5.3 Schematic Diagram	1-6
	1.5.4 อาคารควบคุมน้ำ	1-6
	1.5.5 ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก	1-7
	1.5.6 ไฟล์ข้อมูลสำหรับการ RUN โปรแกรม WUA	1-7
	1.5.7 ผลการ RUN โปรแกรม WUA	1-7
	1.6 เอกสารอ้างอิง	1-8
	ภาคผนวก	1-38
	บทปฏิบัติการที่ 1	1-41
บทที่ 2	การวางแผนการส่งน้ำและการติดตามผลการส่งน้ำโดยใช้โปรแกรม WASAM	2-1
	2.1 คำนำ	2-1
	2.2 วัตถุประสงค์ของโปรแกรม WASAM	2-2
	2.3 หลักการของโปรแกรม WASAM	2-4
	2.4 ลักษณะโครงการที่สามารถใช้ WASAM ช่วยในการจัดสรรน้ำ	2-8
	2.5 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับโปรแกรม WASAM	2-8
	2.5.1 ข้อมูลสำหรับคำนวณความต้องการน้ำชลประทาน	2-8
	2.5.2 ข้อมูลฝนในอดีต	2-12
	2.5.3 ลักษณะระบบชลประทาน	2-20
	2.5.4 ข้อมูลแสดงระบบไร่นา	2-22

สารบัญ

		หน้า
	2.6 ข้อมูลรายสัปดาห์	2-22
	2.6.1 ช่วงสัปดาห์สำหรับการรายงานข้อมูล	2-22
	2.6.2 ฝนที่ตกจริงในสัปดาห์	2-25
	2.6.3 การรายงานสภาพน้ำในแปลงนา	2-25
	2.7 ขั้นตอนการคำนวณการจัดสรรน้ำในโปรแกรม WASAM	2-26
	2.7.1 การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทาน	2-26
	2.7.2 การคำนวณปริมาณน้ำ (Q) ที่ส่งให้ช่วงคลองต่าง ๆ	2-28
	2.8 การคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้น้ำ	2-31
	2.9 การจัดทำรายงานการจัดสรรน้ำ	2-33
	2.10 การกระจายน้ำในระดับแปลงนา	2-33
	2.11 การติดตามประเมินผลการส่งน้ำ	2-33
	2.12 เงื่อนไขในการใช้โปรแกรม WASAM	2-41
	2.13 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลเพื่อการ RUN โปรแกรม WASAM	2-42
	2.14 เอกสารอ้างอิง	2-42
	บทปฏิบัติการที่ 2	2-47
บทที่ 3	การออกแบบระบบท่อส่งน้ำด้วยโปรแกรม BRANCH และ LOOP	3-1
	3.1 คำนำ	3-1
	3.2 BRANCH Version 3.0	3-1
	3.2.1 ข้อมูลที่โปรแกรม BRANCH ต้องการ	3-1
	3.2.2 รายละเอียดโปรแกรม BRANCH 3.0	3-2
	3.2.3 การกำหนด Node-Pipes	3-5
	3.2.4 สมการที่ใช้คำนวณ	3-5
	3.2.5 ตัวอย่างการออกแบบท่อด้วย BRANCH 3.0	3-6
	3.3 LOOP VERSION 4.0	3-13
	3.3.1 ข้อมูลสำคัญที่จะต้องใช้ในโปรแกรม	3-13
	3.3.2 รายละเอียดโปรแกรม LOOP VERSION 4.0	3-19
	3.3.3 ตัวอย่างการออกแบบท่อด้วยโปรแกรม LOOP 4	3-19
	3.3.4 การพล็อตเส้น Hydraulic Gradeline	3-19
	3.4 เอกสารอ้างอิง	3-30
	บทปฏิบัติการที่ 3	3-31

สารบัญ

หน้า

บทที่ 4	การวิเคราะห์ Flood Hydrograph ด้วย HEC-1	4-1
	4.1 คำนำ	4-1
	4.2 Model Components	4-1
	4.2.1 Stream Network Model Development	4-1
	4.2.2 Surface Runoff Hydrograph	4-2
	4.2.3 River Routing Components	4-2
	4.2.4 Combined Use of River Routing and Subbasin Runoff Components	4-2
	4.2.5 Reservoir Components	4-2
	4.2.6 Diversion Component	4-3
	4.2.7 Pump Component	4-3
	4.2.8 Hydrograph Tranformation	4-3
	4.3 ประโยชน์ของ HEC-1	4-3
	4.4 การป้อนข้อมูล	4-3
	4.5 ตัวอย่างการหา Flood Hydrograph ด้วย HEC-1	4-4
	4.6 เอกสารอ้างอิง	4-4
	ภาคผนวก	4-15
	บทปฏิบัติการที่ 4	4-24
บทที่ 5	การวิเคราะห์เส้นระดับผิวน้ำด้วย HEC-2	5-1
	5.1 คำนำ	5-1
	5.2 Standard Step Method	5-2
	5.3 ประโยชน์ของ HEC-2	5-4
	5.4 Basic Data Requirements	5-5
	5.5 Program Input	5-5
	5.6 Program Output	5-5
	5.7 HEC-2, EDIT2,SUMPO,PLOT2	5-5
	5.7.1 HEC-2 Menu	5-5
	5.7.2 EDIT 2	5-6
	5.7.3 SUMPO	5-6

สารบัญ

		หน้า
	5.7.4 PLOT 2	5-6
	5.8 เอกสารอ้างอิง	5-7
	ภาคผนวก	5-15
	บทปฏิบัติการที่ 5	5-24
บทที่ 6	การวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำด้วย HEC-3	6-1
	6.1 คำนำ	6-1
	6.2 รายละเอียด HEC-3	6-1
	6.2.1 Hydrologic Characteristics	6-1
	6.2.2 Reservoir Characteristics	6-2
	6.2.3 Control Point Characteristics	6-3
	6.2.4 Powerplant Characteristics	6-3
	6.2.5 Diversions	6-4
	6.2.6 Economic Evaluation	6-4
	6.2.7 System Operation	6-5
	6.3 การกำหนด reservoir Operating Rule จาก Reservoir Levels	6-5
	6.4 Input Data Cards	6-7
	6.5 Output Data Description	6-10
	6.5.1 Printout of Input Data	6-10
	6.5.2 Monthly Reservoir Operation Data Arranged by year	6-10
	6.5.3 System Power Summary	6-11
	6.5.4 Average Values of Data for Simulation Period	6-11
	6.5.5 Shortage and Freguency Data	6-11
	6.6 HEC-3 Example	6-13
	6.7 Card Description	6-16
	6.8 เอกสารอ้างอิง	6-26
	ภาคผนวก	6-27
	บทปฏิบัติการที่ 6	6-28
บทที่ 7	การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง HEC-4	7-1
	7.1 การประเมินน้ำท่า	7-1
	7.1.1 แบบกายภาพ	7-1

สารบัญ

	หน้า
7.1.2 แบบจำลองทางสถิติ	7-1
7.2 ประโยชน์ของโปรแกรม HEC-4	7-1
7.3 หลักสำคัญในการวิเคราะห์	7-2
7.4 Input Data	7-5
7.5 Output Data	7-6
7.6 แนวทางการวิเคราะห์น้ำท่า	7-6
7.7 เอกสารอ้างอิง	7-6
ภาคผนวก 7.1	7-19
ภาคผนวก 7.2	7-23
บทปฏิบัติการที่ 7	7-25

บทที่ 1

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้น้ำของโครงการชลประทาน

(Water Use Analysis)

1.1 บทนำ

Water Use Analysis (WUE) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ทำงานแบบ Interactive เพื่อใช้ประเมินหาประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Use Efficiency, WUE) ของโครงการชลประทานรายสัปดาห์ ทั้งในระดับโซน ระดับงานส่งน้ำและบำรุงรักษา (Water Master) และระดับคลองส่งน้ำสายใหญ่ ค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ (WUE) ของโครงการชลประทานถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการจัดสรรน้ำให้โซน งานส่งน้ำและคลองต่าง ๆ นอกจากนี้ WUE ยังเป็นดรรชนีที่สำคัญที่บ่งบอกถึงผลการปฏิบัติงาน (Performance) เกี่ยวกับการควบคุมการส่งน้ำของเจ้าหน้าที่และการใช้น้ำของเกษตรกร และยังสามารถใช้ WUE เป็นตัวบ่งบอกถึงบริเวณพื้นที่ที่มีปัญหาด้านการส่งน้ำได้อีกด้วย (RID. 1988)

WUE ได้ถูกพัฒนาขึ้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว จ.กาฬสินธุ์ ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2531 อย่างไรก็ตามโปรแกรมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการชลประทานทั่ว ๆ ไปได้ โดยมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนสถานีวัดน้ำฝน จำนวนอาคารควบคุมและวัดน้ำ และจำนวนโซนในโครงการ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 1.3

1.2 สูตรที่ใช้ในโปรแกรม

การคำนวณประสิทธิภาพการใช้น้ำจะเริ่มจากการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช ความต้องการน้ำชลประทานของโซนต่าง ๆ แล้วจึงนำไปหาประสิทธิภาพการใช้น้ำต่อไป สูตรที่ใช้ในโปรแกรมได้แก่

(1) ความต้องการน้ำของพืช i ซึ่งมีอายุ j

(Crop Water Requirement of Crop i at age j)

$$CWR_{ij} = K_{ij} * ET_o + PER_i \quad \text{.....} \quad (1.1)$$

เมื่อ

i = ชนิดพืช

j = อายุของพืช เป็นสัปดาห์

CWR_{ij} = ความต้องการน้ำของพืช i ซึ่งมีอายุ j สัปดาห์ (มม./สัปดาห์)

K_{ij} = ส.ป.ส. พืช i ซึ่งมีอายุ j สัปดาห์

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./สัปดาห์)

PER_i = การรั่วซึมน้ำในแปลงนา (มม./สัปดาห์)

(2) ความต้องการน้ำของพืชในโซน

(Crop Water Requirements in Zone Z)

$$CWR(Z) = \left[\sum_{j=1}^{m} \left[\sum_{i=1}^{n} (CWR_{ij} * A_{ij} + LP_i * ALP_i) \right] \right] / 378 \quad \text{..... (1.2)}$$

เมื่อ $CWR(Z)$ = ความต้องการน้ำของโซน z (ลิตร/วินาที)

A_{ij} = พื้นที่ปลูกพืช i ซึ่งมีอายุ j สัปดาห์ (ไร่)

LP_i = ความต้องการน้ำในการเตรียมแปลงของพืช i (มม./สัปดาห์)

ALP_i = พื้นที่เตรียมแปลงพืช i (ไร่)

m = อายุพืชสูงสุดในสัปดาห์นั้น ๆ

n = จำนวนพืชในโซน j

(3) ฝนใช้การ (Effective Rainfall) (Vudhivanich, 1989)

ถ้า $R < R^*$; $RE'(Z) = R$ ..... (1.3a)

ถ้า $R > R^*$; $RE'(z) = \frac{R + a}{b}$ ..... (1.3b)

เมื่อ $RE'(Z)$ = ฝนใช้การในโซน z (มม./สัปดาห์)

R = ฝนที่ตกในโซน z (มม./สัปดาห์)

a, b = ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

และ $RE(Z) = \frac{RE'(Z) * IA(Z)}{378}$ ..... (1.4)

เมื่อ $RE(Z)$ = ฝนใช้การในโซน z (ลิตร/วินาที)

$IA(Z)$ = พื้นที่ชลประทานของโซน z (ไร่) ซึ่งเท่ากับพื้นที่เตรียมแปลงบวกพื้นที่ปักดำหรือพื้นที่หว่าน

(4) ประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Use Efficiency) (Vudhivanich, 1989)

การคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้น้ำของโซน z

เมื่อ $$WUE(Z) = 100[\frac{CWR(Z) - RE(Z)}{Q(Z)}] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.5)$$

WUE1(Z) = ประสิทธิภาพการใช้น้ำของโซน z (%)

Q(Z) = ปริมาณน้ำที่ส่งให้กับโซน z (ลิตร/วินาที)

= $[\Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}]$ ของโซน z

การคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้น้ำระดับงานส่งน้ำและบำรุงรักษาและระดับคลองสายใหญ่ จะทำได้ในทำนองเดียวกันกับการหา WUE(Z) ของโซนในสมการที่ (1.5)

1.3 โครงสร้างของโปรแกรม WUA

โครงสร้าง (Layout) ของโปรแกรม WUA แสดงอยู่ในรูปที่ 1.1 โปรแกรมต้องการข้อมูลรายสัปดาห์เพื่อการคำนวณ WUE 3 ส่วนคือ

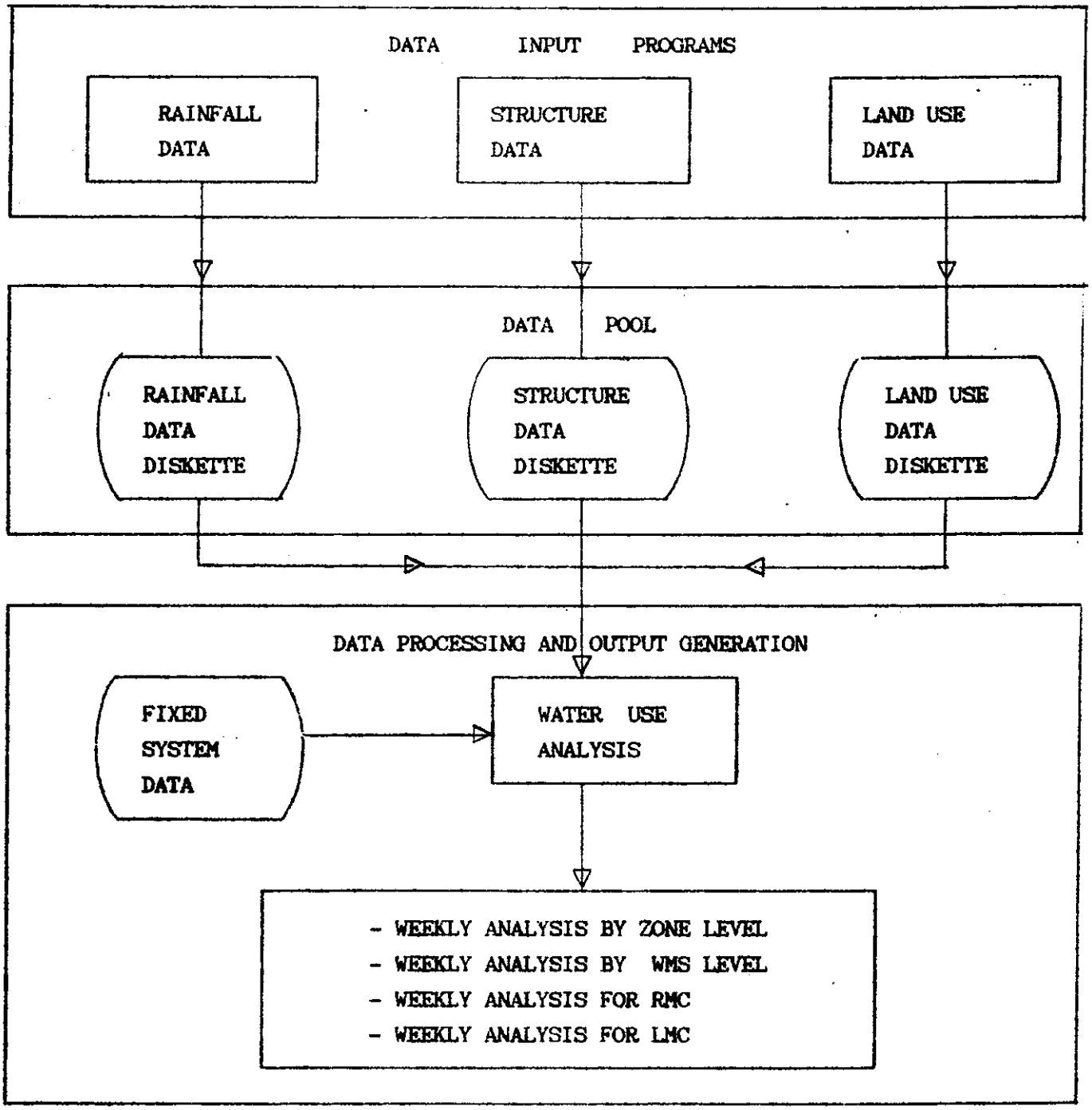
- ข้อมูลฝน (RAINFALL DATA)
- ข้อมูลการวัดน้ำที่ ปตร.ต่าง ๆ (STRUCTURE DATA)
- ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก (LAND USE DATA)

การป้อนข้อมูลทั้ง 3 จะทำได้โดยการ RUN โปรแกรมย่อย RAININ, WLIN และ LANDIN ตามลำดับ รายละเอียดในการป้อนข้อมูลแสดงอยู่ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การป้อนข้อมูลรายสัปดาห์

โปรแกรมย่อย	ประเภทข้อมูล	จำนวนสูงสุดของข้อมูล
RAININ	ฝนรายวันของสัปดาห์นั้น ๆ	16 สถานี
WLIN	ข้อมูลการปิด-เปิด-ปรับ ปตร. วันละ 2 ครั้ง	58 อาคาร
LANDIN	พื้นที่เพาะปลูกรายสัปดาห์	34 โซน

WATER USE ANALYSIS
LAYOUT OF SOFTWARE PACKAGE



รูปที่ 1.1 โครงสร้างของโปรแกรม WUA

นอกจากข้อมูลรายสัปดาห์ทั้ง 3 โปรแกรม WUA ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับระบบชลประทาน ซึ่งเป็นข้อมูลประจำฤดูกาล ซึ่งได้แก่ชื่อโครงการ จำนวนโซน จำนวนอาคาร พื้นที่เพาะปลูกของแต่ละโซน ลักษณะระบบคลองชลประทาน สถานีวัดน้ำฝน และสูตรหาฝนใช้การ ฯลฯ โดยการป้อนข้อมูลเมื่อต้นฤดูกาลเพาะปลูกเข้าไปเก็บไว้ในไฟล์ FIXED SYSTEM DATA หรือ SYSTEM.FIX

เมื่อป้อนข้อมูลทั้งประจำฤดูกาลและรายสัปดาห์แล้ว สามารถ RUN โปรแกรม WUA เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้น้ำแบบ Interactive ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ 4 แบบ (Options) คือ

(1) วิเคราะห์หา WUE รายสัปดาห์ของแต่ละโซน
(Weekly Analysis by Zone)

(2) วิเคราะห์หา WUE รายสัปดาห์ของแต่ละงานส่งน้ำฯ
(Weekly Analysis by Water Master Section)

(3) วิเคราะห์หา WUE ของคลองสายใหญ่ฝั่งขวา
(Weekly Analysis for RMC)

(4) วิเคราะห์หา WUE ของคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย
(Weekly Analysis for LMC)

โปรแกรม WUA กำหนดฤดูกาลส่งน้ำไว้ดังนี้

ฤดูฝน : 1 มิถุนายน - 30 พฤศจิกายน

ฤดูแล้ง : 1 ธันวาคม - 30 เมษายน

หยุดส่งน้ำในเดือนพฤษภาคม

ทั้งนี้เป็นไปตามฤดูกาลส่งน้ำของโครงการลำปาว

1.4 อาคารควบคุมน้ำชลประทาน

โครงการชลประทานลำปาวประกอบด้วยอาคารควบคุมน้ำชลประทาน 4 ประเภทคือ

- underflow gate, free flow ซึ่งเรียกว่า แบบ F
- underflow gate, submerged ซึ่งเรียกว่า แบบ S
- fixed weir ซึ่งเรียกว่า แบบ W
- constant head orifice ซึ่งเรียกว่า แบบ T

อาคารควบคุมน้ำชลประทานทั้ง 4 แบบมีลักษณะและสมการอัตราการไหล ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 1.2

1.5 การใช้โปรแกรม WUA ในโครงการชลประทานลำปาว

1.5.1 ข้อมูลการใช้น้ำของพืช

โครงการชลประทานลำปาวมีพืชหลัก 4 ชนิดคือ ข้าว ถั่วลิสง ข้าวโพด และบ่อเลี้ยงปลา ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K) ค่าการรั่วซึมในแปลงนาและบ่อปลา ค่าปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงของพืชทั้ง 4 ชนิด และค่า ET_o รายเดือนของโครงการชลประทาน แสดงอยู่ในตารางที่ 1.2, 1.3 และ 1.4 ตามลำดับ

1.5.2 ข้อมูลฝนใช้การ

ค่า ส.ป.ส. R*, a และ b ของสมการฝนใช้การ (สมการ 1.3) แสดงอยู่ในตารางที่ 1.5

1.5.3 Schematic Diagram

Schematic Diagram แสดงลักษณะของงานส่งน้ำและบำรุงรักษาทั้ง 9 แสดงอยู่ในรูปที่ 1.3 รูปที่ 1.4 - 1.11 แสดงพื้นที่โซนและอาคารควบคุมน้ำที่สำคัญของงานส่งน้ำที่ 2-9

1.5.4 อาคารควบคุมน้ำ

ตารางที่ 1.6 แสดงชื่อของโครงการชลประทานลำปาว และตารางที่ 1.7 แสดงข้อมูลจำเพาะของอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ ทั้ง 58 อาคาร ในโครงการชลประทานลำปาว

ตารางที่ 1.8-1.10 แสดงจำนวนและหมายเลขอาคารควบคุมน้ำที่ใช้ในการตรวจวัดน้ำเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณน้ำที่ส่งให้ (Q) โครงการชลประทาน งานส่งน้ำฯ และโซนต่าง ๆ ตามลำดับ

อาคารควบคุมน้ำของโซน 1 และ 2 ในงานส่งน้ำฯ ที่ 5 ไม่ได้อยู่ที่ขอบเขตของโซน จะมีผลทำให้การคำนวณ Q และการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำของโครงการไม่ถูกต้องเหมือนกรณีที่อาคารควบคุมน้ำอยู่ที่ขอบเขตโซนพอดี

1.5.5 ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก (Land Use Data)

แต่ละสัปดาห์ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกของโซนต่าง ๆ จะถูกป้อนเข้าโปรแกรมโดยการ RUN โปรแกรม LANDIN ในฤดูฝน (1 มิถุนายน - 30 พฤศจิกายน) กำหนดว่าปลูกข้าวทั้ง 100 % ของพื้นที่โครงการ ซึ่งผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลพื้นที่ทำกล้า พื้นที่เตรียมแปลง และพื้นที่ปักดำ ส่วนในฤดูแล้ง (1 ธันวาคม - 30 เมษายน) กำหนดว่าสามารถปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด คือ ข้าว ถั่วลิสง ข้าวโพด และบ่อเลี้ยงปลา

1.5.6 ไฟล์ข้อมูลสำหรับการ RUN โปรแกรม WUA

ก่อน RUN โปรแกรมผู้ใช้ต้องเตรียมไฟล์ข้อมูล 4 ไฟล์คือ

- DGEN.DAT (ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในฤดูแล้ง ดังแสดงในตารางที่ 1.11)
- WGEN.DAT (ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในฤดูฝน ดังแสดงในตารางที่ 1.12)
- ST.D1 - ST.D9 (ข้อมูลอาคารควบคุมน้ำในงานส่งน้ำต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.13)
- SYSTEM.FIX (ข้อมูลระบบชลประทานและผนใช้การ ดังแสดงในตารางที่ 1.14)

วิธีการป้อนข้อมูลเพื่อสร้างไฟล์ DGEN.DAT WGEN.DAT ST.D1-ST.D9 และ SYSTEM.FIX แสดงอยู่ในภาคผนวกท้ายบท

1.5.7 ผลการ RUN โปรแกรม WUA

ตัวอย่างผลการ RUN โปรแกรม WUA เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้น้ำรายสัปดาห์ของโซนต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 1.12 และการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้น้ำรายฤดูกาลของงานส่งน้ำต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 1.13

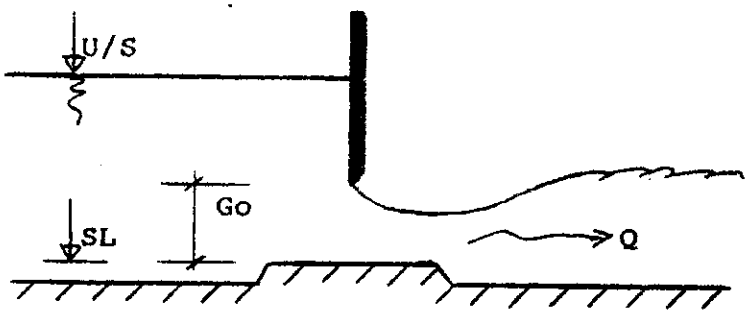
1.6 เอกสารอ้างอิง

(1) Royal Irrigation Department, Water Use Analysis Computer Program Manual, LAM PAO, Chi Basin Water Management Improvement Project, May 1988.

(2) Vudhivanich,V., Computer Program on Water Use Analysis, AIT/CEC Training Document, Dept. of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakorn Pathom, 1989.

Type F Underflow gate, free flow required INPUT

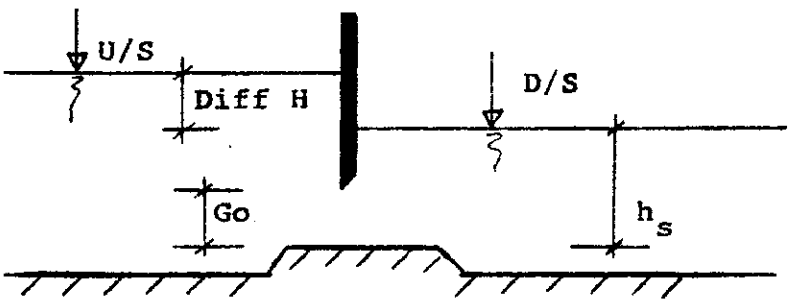
U/S in msl
Go in m



Equation : $Q = C * L * Go * \sqrt{2g\ (U/S - SL)}$

Type S Underflow gate, submerged flow

U/S in msl
Go in m
D/S in m



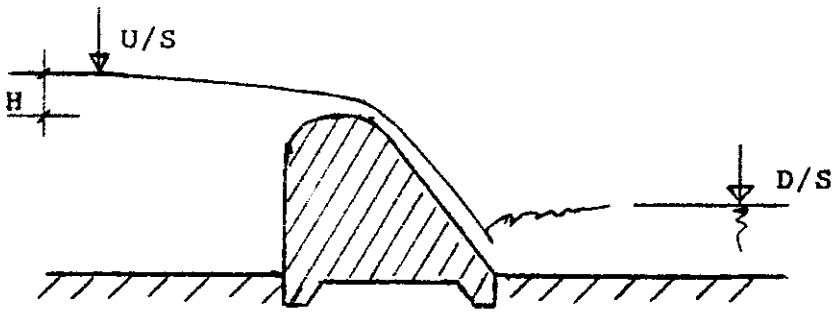
Equation : $Q = Cs * L * hs * \sqrt{2g\ DiffH}$

where $Cs = \left(\frac{hs}{Go * C} \right)^{1/m}$

รูปที่ 1.2 อาคารควบคุมน้ำชลประทานและสมการอัตราการไหล

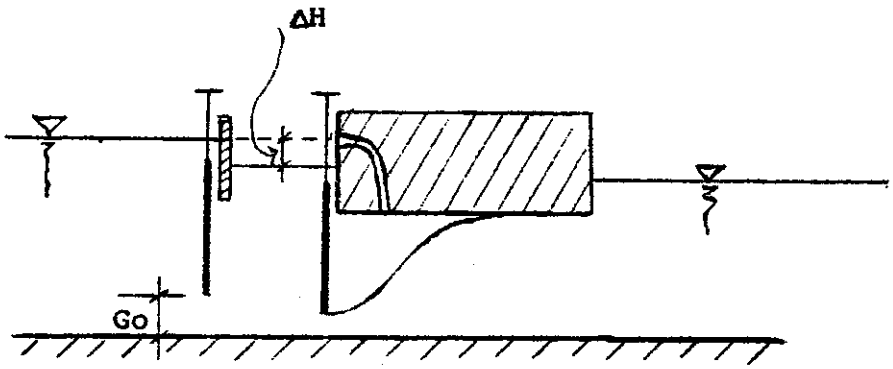
required INPUT

Type W Fixed weir U/S in m



Equation : $Q = C * L * DiffH^{1.5}$

Type T Constant head orifice Go in m



Equation : $Q = a * Go + b$

รูปที่ 1.2 (ต่อ) อาคารควบคุมน้ำชลประทานและสมการอัตราการไหล

ตารางที่ 1.2 ค่า ส.ป.ส. การใช้น้ำของพืช (K) รายสัปดาห์ในโครงการชลประทานลำปาว

ค่า K รายสัปดาห์

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ข้าว	1.04	1.04	1.04	1.04	1.12	1.12	1.12	1.12	1.27	1.27	1.27	1.27	1.18	1.18	1.18	1.18	0.98	0.98	0.98	0.98
ถั่วลิสง	0.34	0.44	0.52	0.6	0.66	0.69	0.73	0.77	0.78	0.76	0.73	0.64	0.52	0.41	0.41	0.14				
ข้าวโพด	0.26	0.32	0.4	0.5	0.64	0.86	0.96	1.02	1.05	1.06	1.05	0.98	0.8	0.6	0.54	0.54				
บ่อเลี้ยงปลา	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10

ตารางที่ 1.3 ค่าอัตราการรั่วซึมและปริมาณการใช้น้ำเตรียมแปลงในโครงการชลประทานลำปาว

	ข้าว	ถั่วลิสง	ข้าวโพด	บ่อเลี้ยงปลา
อัตราการรั่วซึม (PERi) (มม./วัน)	1.5	-	-	1.5
ปริมาณการใช้น้ำเตรียมแปลง (มม.)	200	80	80	200
ระยะเวลาเตรียมแปลง (สัปดาห์)	3	1	1	3

ตารางที่ 1.4 ค่า ETo รายเดือนของโครงการชลประทานลำปาว

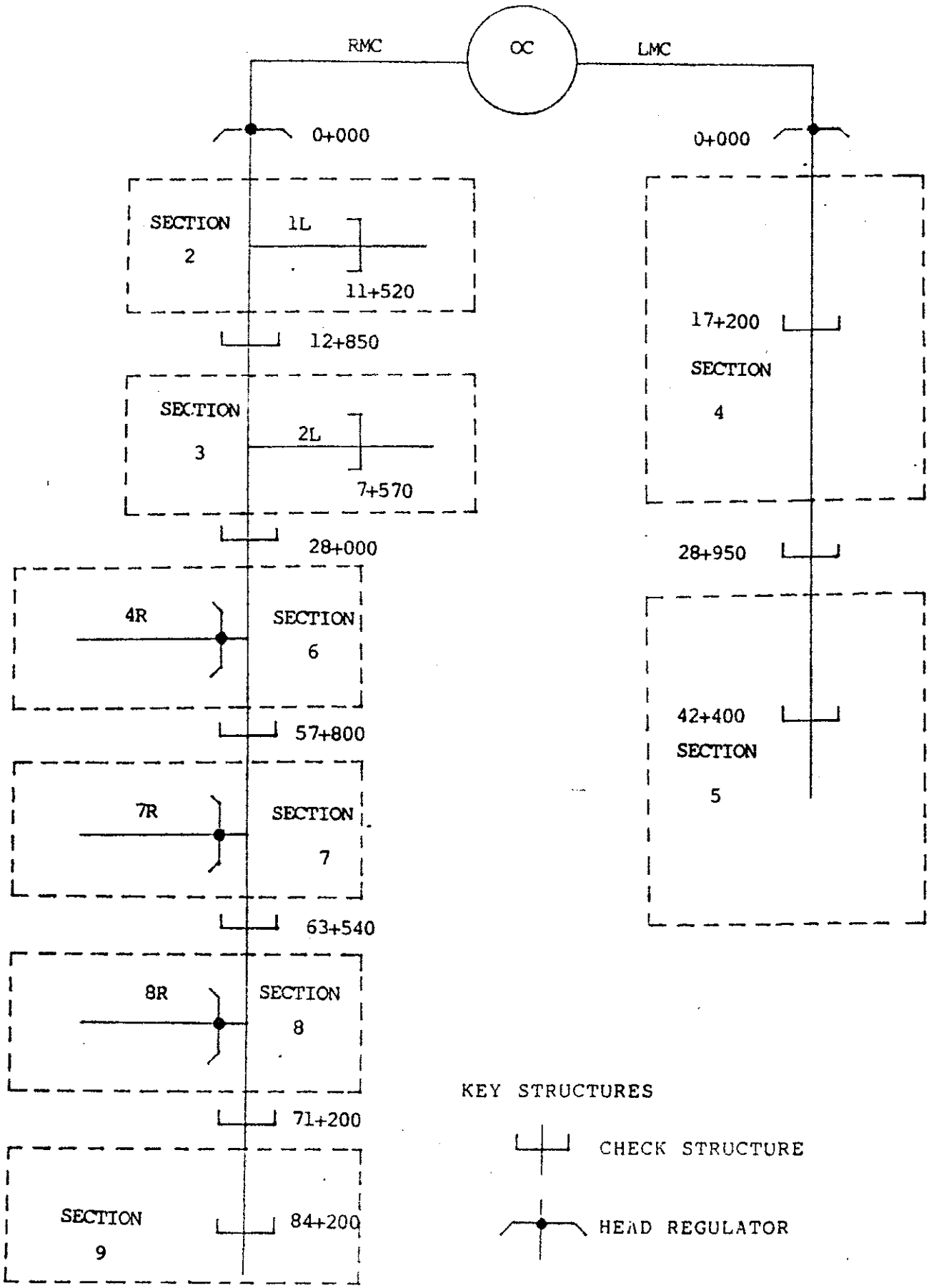
เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ETo มม./วัน	4.2	5.0	5.3	5.8	5.2	4.9	4.7	4.2	4.3	4.4	4.2	3.7

ตารางที่ 1.5 ค่า ส.ป.ส. สมการผันใช้การ โครงการชลประทานลำปาว

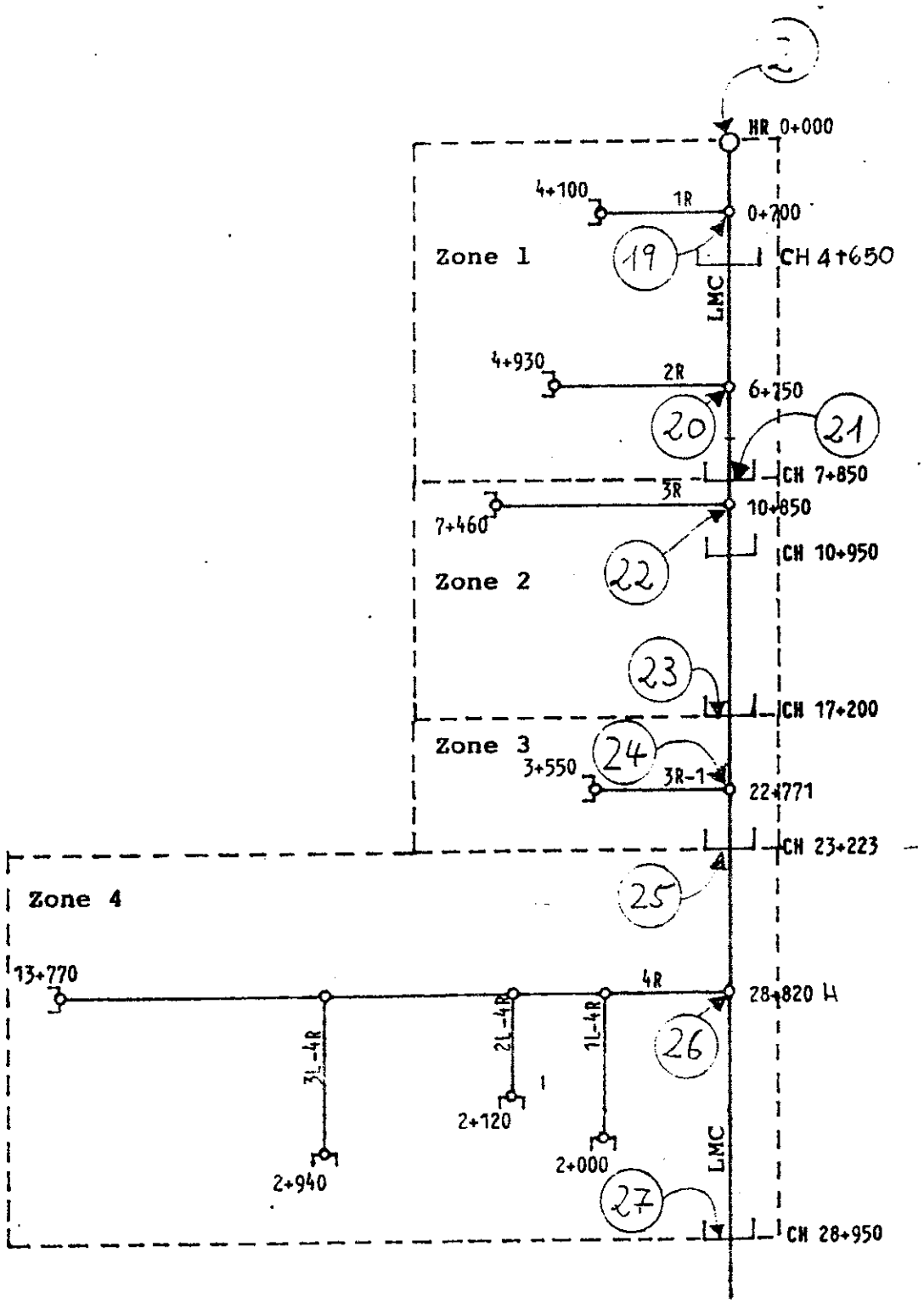
$$R \leq R^{*} \; ; \quad RE'(\text{ส}) = R$$

$$R > R^{*} \; ; \quad RE'(\text{ส}) = \frac{R + a}{b}$$

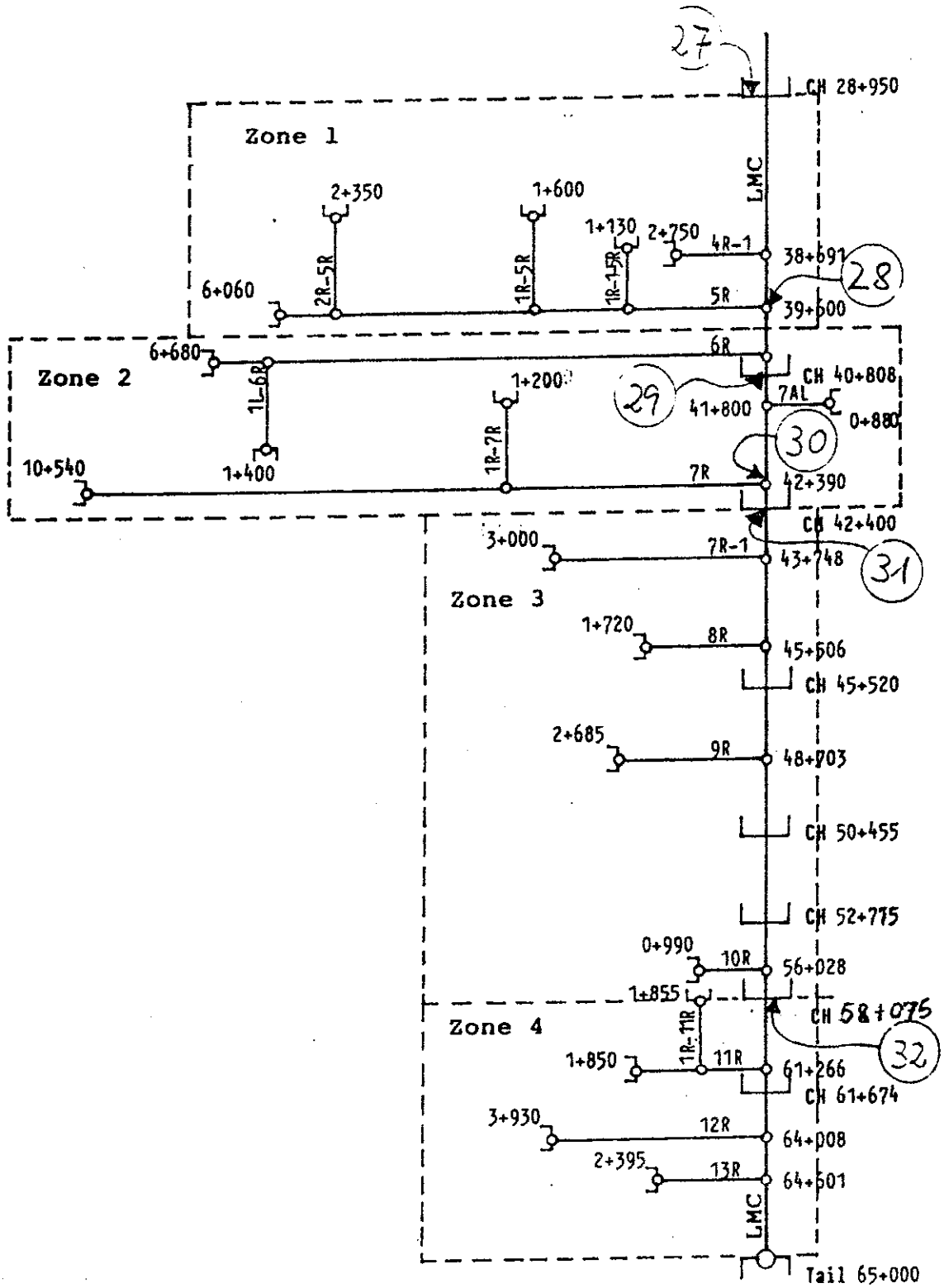
เดือน	R^{*}	a	b
ตค.-พค.	50	200	5
มิย.-กค.	65	373.75	6.75
สค.	60	360	7
กย.	45	1,350	31



รูปที่ 1.3 Schematic layout ของโครงการชลประทานลำปาว



รูปที่ 1.4 Schematic system layout ของงานส่งน้ำฯ ที่ 4



รูปที่ 1.5 Schematic system layout WM Section 5

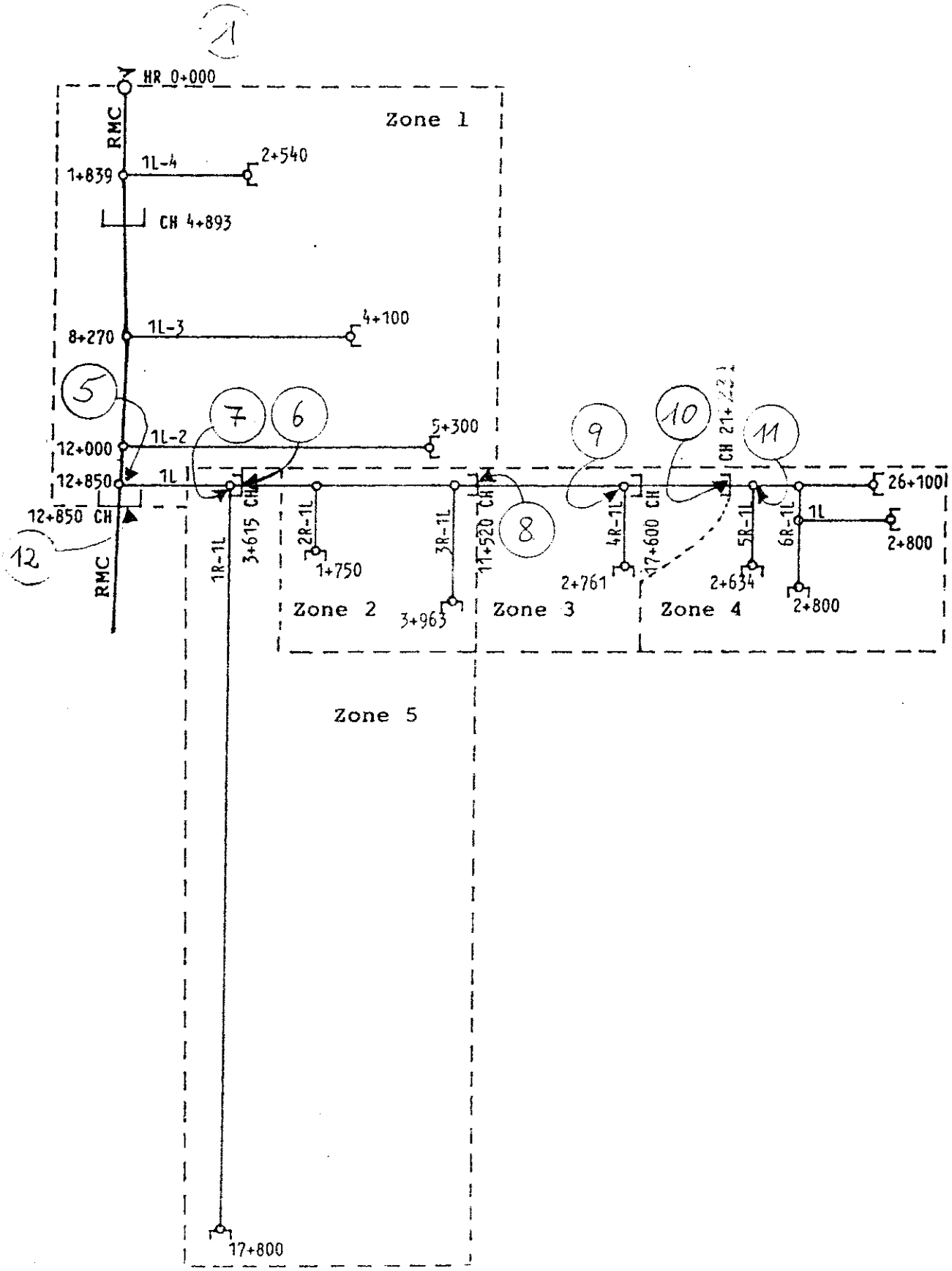


Fig 1.6 Schematic system layout WM Section 2

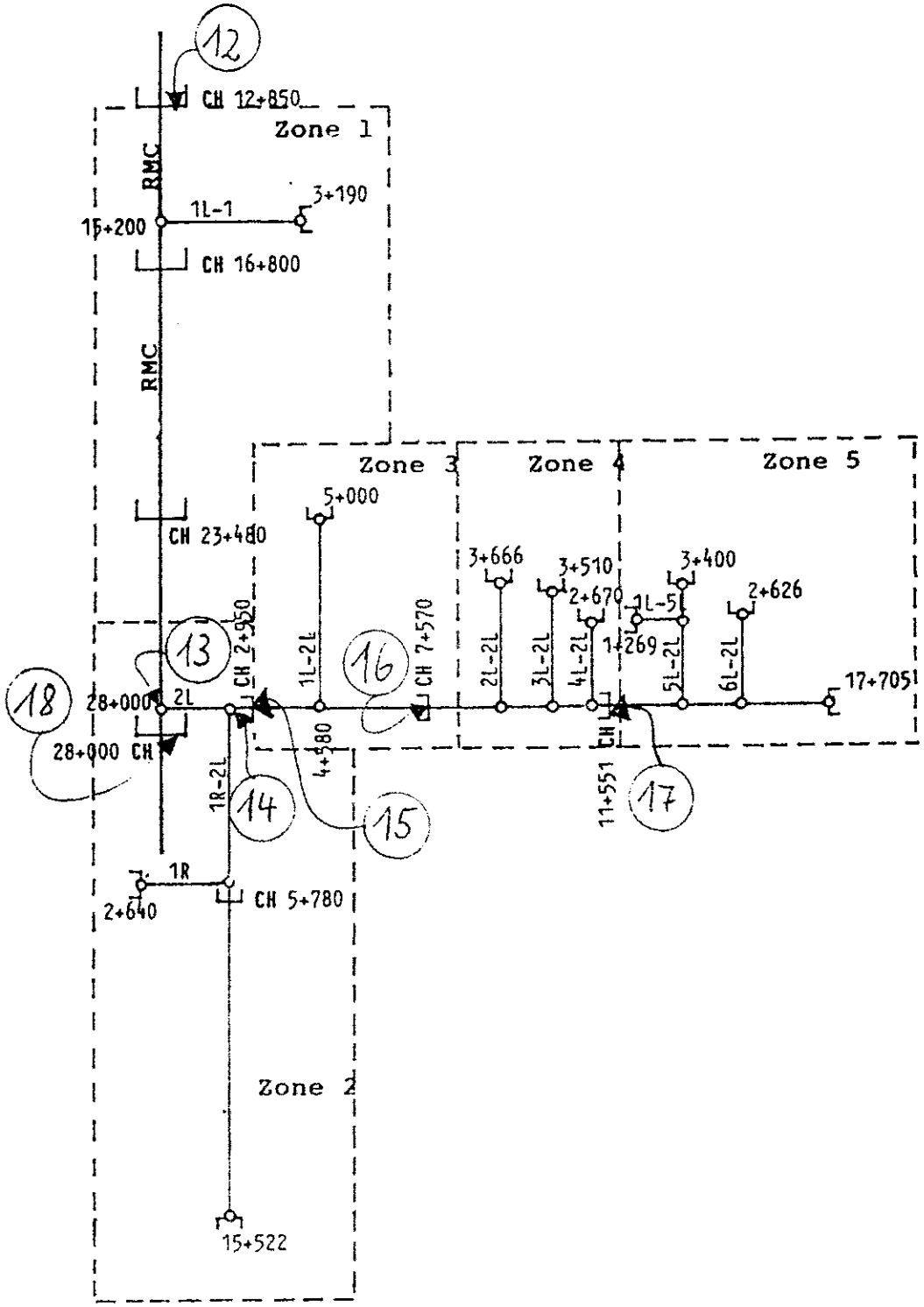
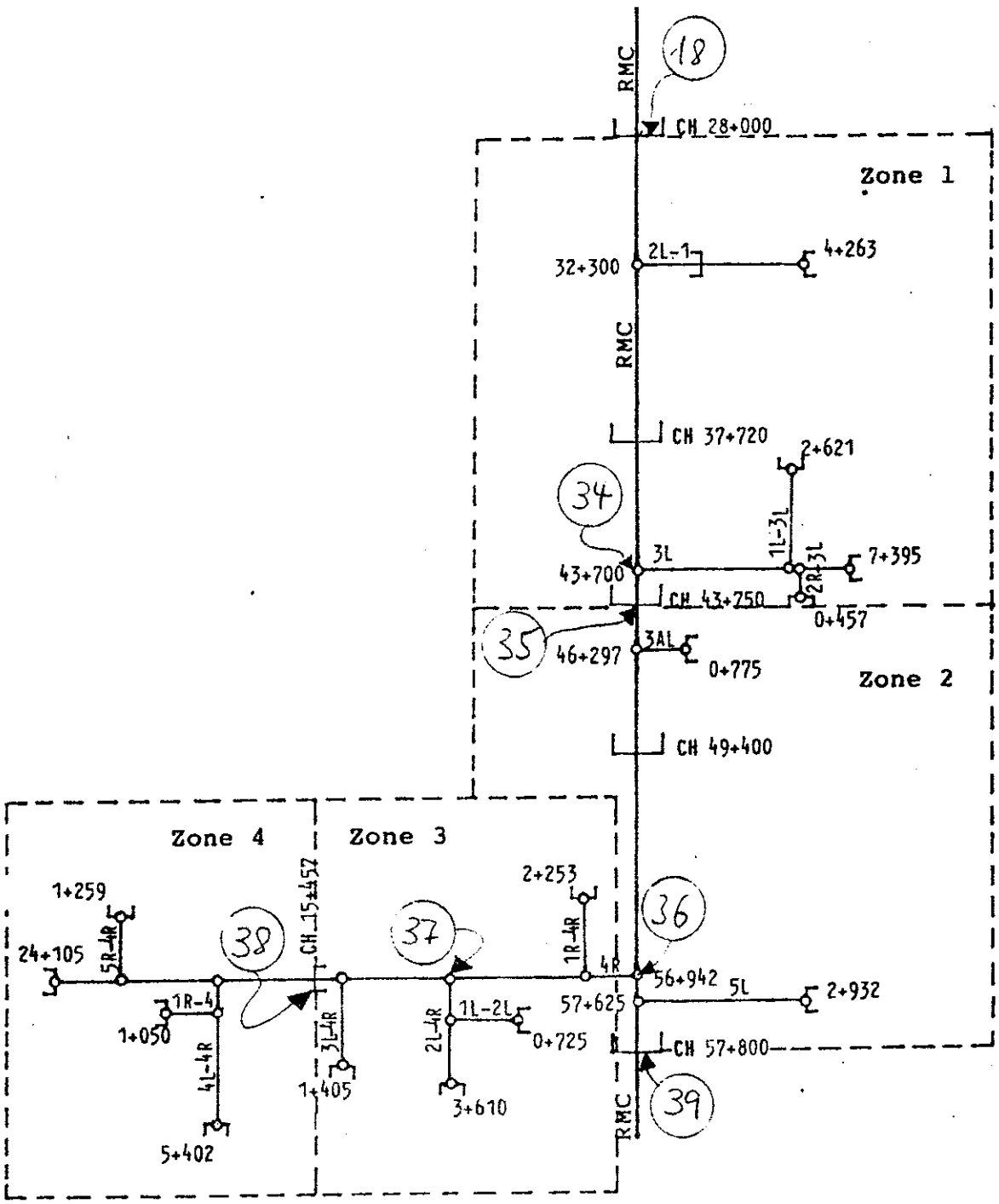


Fig. 1.7 Schematic system layout WM Section 3



รูปที่ 1.8 Schematic system layout WM Section 6

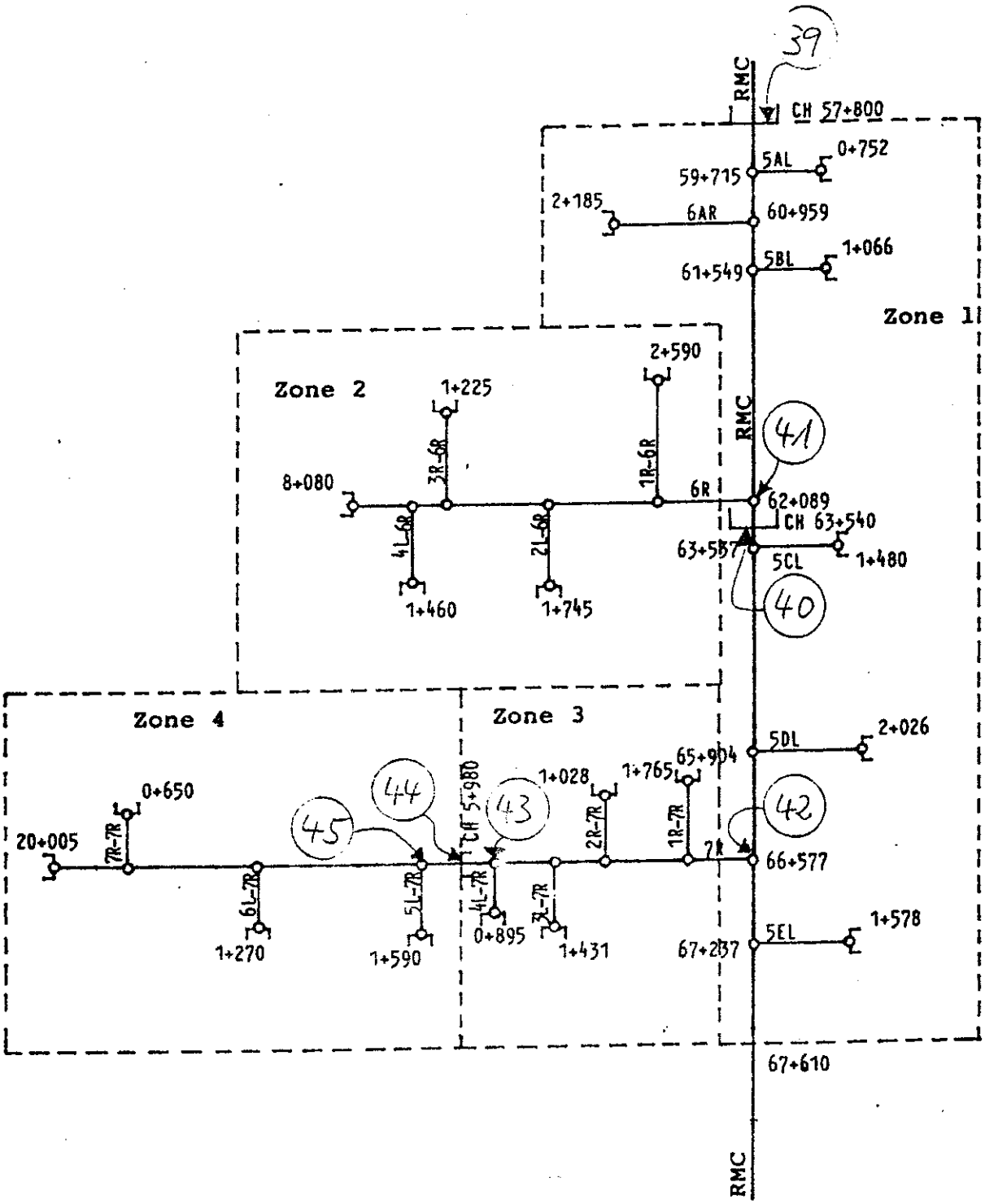
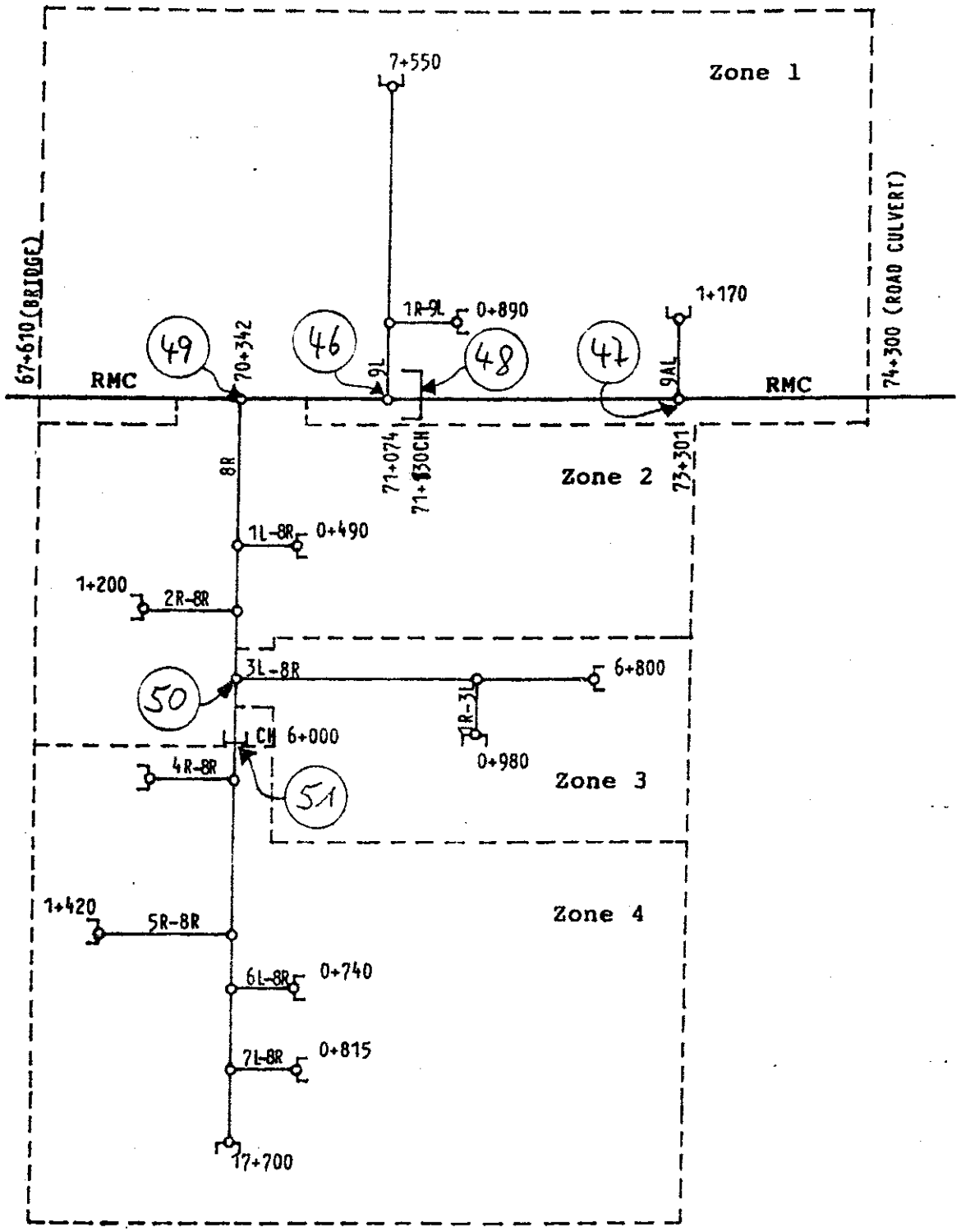


Fig 1.9 Schematic system layout WM Section 7



รูปที่ 1.10 Schematic system layout WM Section 9

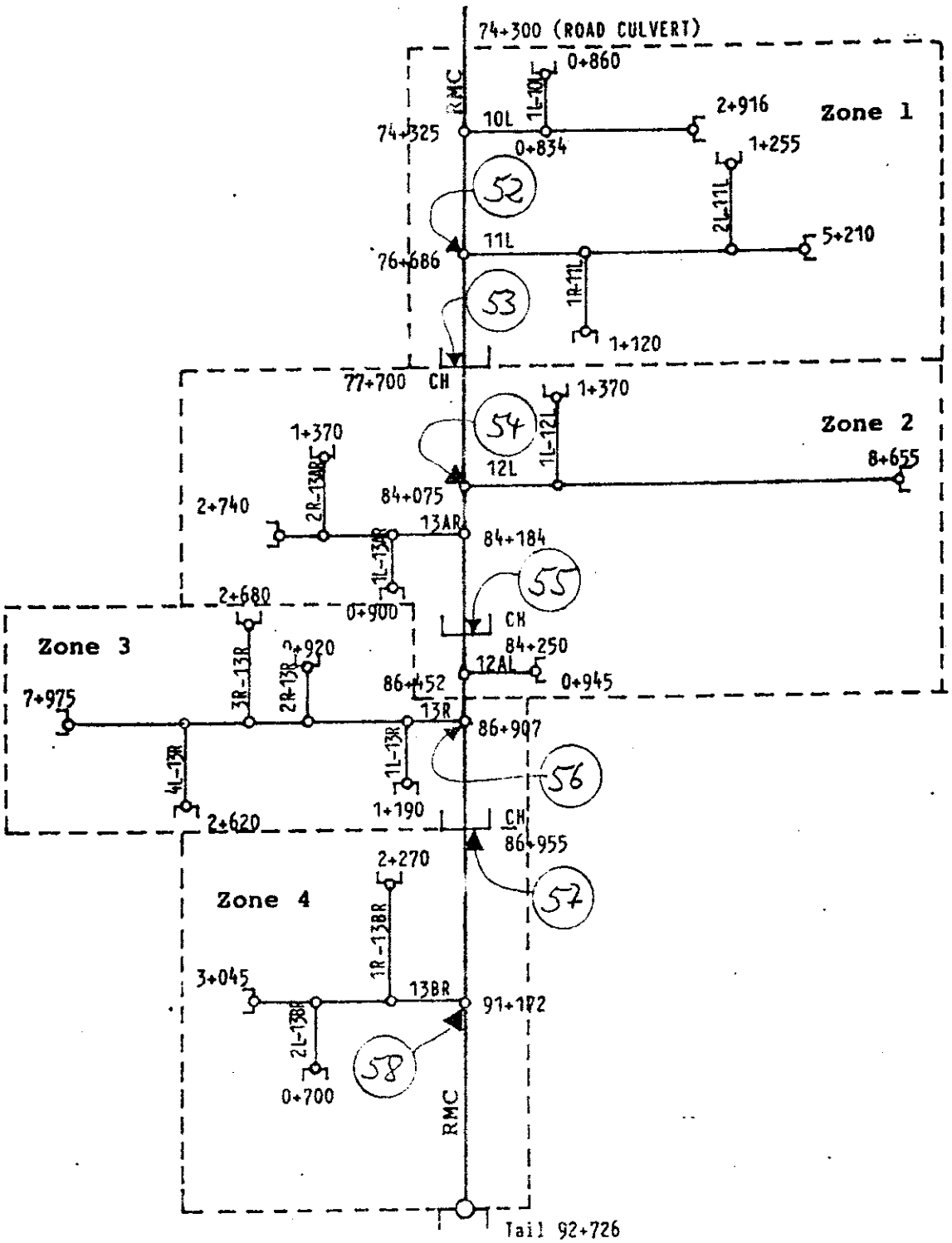


Fig. 1.11 Schematic system layout WM Section 9

ตารางที่ 1.6 อาคารควบคุมน้ำชลประทานที่มีการตรวจวัดน้ำและใช้ในการวิเคราะห์

Monitoring & Analysis	
No.	Name
1	HR RMC 0+000
2	HR LMC 0+000
5	HR 1L RMC 0+000
6	CH 1L RMC 3+615
7	HR 1R-1L RMC 0+000
8	CH 1L RMC 11+520
10	CH 1L RMC 21+231
12	CH 12+850 RMC
13	HR 2L RMC 0+000
15	CH 2L RMC 2+950
16	CH 2L RMC 7+570
17	CH 2L RMC 11+551
18	CH 28+000 RMC
21	CH 7+850 LMC
23	CH 17+200 LMC
25	CH 23+223 LMC
27	CH 28+950 LMC
29	HR 6R LMC 0+000
31	CH 42+400 LMC
32	CH 58+075 LMC
35	CH 43+750 RMC
36	HR 4R RMC 0+000
38	CH 4R RMC 15+457
39	CH 57+800 RMC
41	HR 6R RMC 0+000
42	HR 7R RMC 0+000
44	CH 7R RMC 5+980
46	HR 9L RMC 0+000
47	HR 9AL RMC 0+000
48	CH 71+130 RMC
49	HR 8R RMC 0+000
50	HR 3L-8R RMC 0+000
51	CH 8R RMC 6+000
53	CH 77+700 RMC
56	HR 13R RMC 0+000
57	CH 86+955 RMC
Total : 36 structures	

Monitoring only	
No.	Name
3	SPILLWAY
4	RIVER OUTLET
9	HR 4R-1L RMC 0+000
11	HR 5R-1L RMC 0+000
14	HR 1R-2L RMC 0+000
19	HR 1R LMC 0+000
20	HR 2R LMC 0+000
22	HR 3R LMC 0+000
24	HR 3R-1 LMC 0+000
26	HR 4R LMC 0+000
28	HR 5R LMC 0+000
30	HR 7R LMC 0+000
33	HR 12R LMC 0+000
34	HR 3L RMC 0+000
37	HR 2L-4R RMC 0+000
40	CH 63+540 RMC
43	HR 4L-7R RMC 0+000
45	HR 5L-7R RMC 0+000
52	HR 11L RMC 0+000
54	HR 12L RMC 0+000
55	CH 84+250 RMC
58	HR 13BR RMC 0+000
Total : 22 structures	

ตารางที่ 1.7 ข้อมูลการสอบเทียบ (Calibration) อาคารควบคุมน้ำในโครงการชลประทานลำปาว

Struc. no	Section	Structures		Type	Formula a	Formula b	for Type "T" C	for Type "T" m
		main canal	laterals		SL	L		
1	1	RMC 0+000		F	152.2	4.5	0.73	
2		LMC 0+000		F	155.42	1.5	0.49	
3		Spillway		W	160	43.5	2.15	
4		River outlet		F	142	3.75	0.53	
5	2	RMC	1L 0+000	F	47.349	1.5	0.582	
6		RMC	1L 3+615	S	141.76	3.22	1	-0.806
7		RMC	1R-1L 0+000	S	——— no calibration curve ———			
8		RMC	1L 11+520	S	139.614	2	1.1	-0.556
9		RMC	4R-1L 0+000	T	4.292	-43.901		
10		RMC	1L 21+231	S	——— no calibration curve ———			
11		RMC	5R-1L 0+000	T	——— no calibration curve ———			
12		RMC 12+850		S	147.007	4	0.465	-1.286
13	3	RMC	2L 0+000	S	145.294	2.5	0.776	-0.853
14		RMC	1R-2L 0+000	T	9.615	138.029		
15		RMC	2L 2+950	S	——— no calibration curve ———			
16		RMC	2L 7+570	S	——— no calibration curve ———			
17		RMC	2L 11+551	S	——— no calibration curve ———			
18		RMC 28+000		S	——— no calibration curve ———			
19	4	LMC	1R 0+000	S	——— no calibration curve ———			
20		LMC	2R 0+000	S	152.827	0.8	0.662	-0.596
21		LMC 7+850		S	151.43	4	0.814	-0.926
22		LMC	3R 0+000	T	6.452	-39.923		
23		LMC 17+200		S	149.803	4	0.8	-0.95
24		LMC	3R-1 0+000	T	4.237	-4.932		
25		LMC 23+223		S	148.947	4	0.601	-1.113
26		LMC	4R 0+000	W	0	2.67	1.7	
27	5	LMC 28+950		S	147.569	2	0.789	-1.109
28		LMC	5R 0+000	T	10.753	-116.43		
29		LMC	6R 0+000	T	9.174	-66.275		
30		LMC	7R 0+000	T	16.129	-114.5		
31		LMC 42+400		S	145.436	2	0.464	-1.054
32		LMC 58+075		S	141.344	1.8	1.368	-0.618
33		LMC	12R 0+000	T	10.989	98.791		
34	6	RMC	3L 0+000	T	10.101	-144.818		
35		RMC 43+750		S	141.76	6.9	0.524	-1.116
36		RMC	4R 0+000	T	23.256	70.023		
37		RMC	2L-4R 0+000	T	7.576	-53.03		
38		RMC	4R 15+457	S	——— no calibration curve ———			
39		RMC 57+800		S	139.414	4	0.953	-0.953
40	7	RMC 63+540		S	138.721	4	0.83	-1.023
41		RMC	6R 0+000	T	23.256	-133.791		
42		RMC	7R 0+000	T	28.571	-457.143		
43		RMC	4R-7R 0+000	T	5.495			
44		RMC	7R 5+980	S	138.81	1.25	0.354	-1.044
45		RMC	5L-7R 0+000	T	3.559			

ตารางที่ 1.7 (ต่อ) ข้อมูลการสอบเทียบ (Calibration) อาคารควบคุมน้ำในโครงการชลประทานลำปาว

Controlling and monitoring structures, Lam Pao

Struc. no	Section	Structures		Type	Formula a	Formula b	for Type "T" C	for Type "T" m
		main canal	laterals		SL	L		
46	8	RMC	9L 0+000	T	6.711	187.557		
47		RMC	9AL 0+000	T	4.065			
48		RMC 71+130		S	138.46	3	1.629	-0.809
49		RMC	8R 0+000	T	27.933	-209.497		
50		RMC	3L-8R 0+000	T	16.393			
51		RMC	8R 6+000	S	138.28	1.25	0.666	-0.901
52	9	RMC	11L 0+000	T	12.346	-203.185		
53		RMC 77+700		S	138.024	2	1.621	-0.639
54		RMC	12L 0+000	T	6.098	-81.207		
55		RMC 84+250		S	137.109	1.8	0.677	-1.048
56		RMC	13R 0+000	T	18.868	-52.792		
57		RMC 86+955		S	136.696	1.4	0.633	-1.337
58		RMC	13BR 0+000	T	6.494	4.481		

Note :-

PARAMETERS

a,b = constant for straight line relation of CHO type
SL = sill elevation for type S,F or crest elevation for type W
L = gate width for type S,F or crest length for type W
C = constant for type F,W or from realation of Cs and hs/Go for type S
m = constant from relation of Cs and hs/Go for type S

FORMULA

Two gate type T (CHO)
formula Q = a * Go + b

Single gate type S (submerge flow)
formula Cs = (hs/Go/C)^1/m
Q/Cs = L*hs*(2*g*Diff H)^1/2
when hs = D/S - SL
Diff H = U/S - D/S

Single gate type F (free flow)
for mula Q = CLGo(2*g*(U/S-SL))^1/2

Weir type W (or spillway)
formula Q = CL H^3/2
when H = head above crest

ตารางที่ 1.8 อาคารควบคุมน้ำที่ใช้คำนวณ Q ที่ส่งให้คลองสายใหญ่

Canal	REQ. STRUCTURES
LMC	2
RMC	1

ตารางที่ 1.9 อาคารควบคุมน้ำที่ใช้คำนวณ Q ที่ส่งให้งานส่งน้ำฯ ต่าง ๆ

Canal	WMS	REQ. STRUCTUKES
LMC	4	2, 27
LMC	5	27
RMC	2	1, 12
RMC	3	12, 18
RMC	6	18, 39
RMC	7	39, 48, 46, 49
RMC	8	46, 47, 49
RMC	9	48, 47

ตารางที่ [illegible] อาคารควบคุมน้ำที่ใช้คำนวณ Q ที่ส่งให้โซนต่าง ๆ

[illegible]	[illegible]	ZONES	REQ. STRUCTURES	REMARKS
[illegible]	[illegible]	1	2, 21	
		2	21, 23	
		3	23, 25	
		4	25, 27	
[illegible]	[illegible]	1	27, 29	no boundary structure between Zone 1 and Zone 2 ;
		2	29, 31	i.e. inaccurate results
		3	31, 32	
		4	32	low efficiencies may be caused by spillage at the tail
[illegible]	[illegible]	1	1, 12, 6, 7	
		2	6, 8	
		3	8, 10	
		4	10	
		5	7	
[illegible]	[illegible]	1	12, 18, 13	
		2	13, 15	
		3	15, 16	
		4	16, 17	
		5	17	
[illegible]	[illegible]	1	18, 35	
		2	35, 39, 36	
		3	36, 38	
		4	38	
[illegible]	[illegible]	1	39, 48, 46, 49, 42, 41	rough figure because of missing boundary section
		2	41	
		3	42, 44	
		4	44	
[illegible]	[illegible]	1	46, 47	
		2	49, 50, 51	
		3	50	
		4	51	
[illegible]	[illegible]	1	48, 47, 53	
		2	53, 57, 56	
		3	56	
		4	57	low efficiency may be caused by spillage at the tail

ตารางที่ 1.11 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในฤดูแล้ง (file DGEN.DAT)

```
4.2,5.0,5.3,5.8,5.2,4.9,4.7,4.2,4.3,4.4,4.2,3.7
1.5
200,3
80,1
80,1
200,3
1.04,1.04,1.04,1.04,1.12,1.12,1.12,1.12,1.27,1.27,1.27,1.27,1.18,1.18,1.18,1.18,.98,.98,.98,.98
0.34,0.44,0.52,0.60,0.66,0.69,0.73,0.77,0.78,0.76,0.73,0.64,0.52,0.41,0.41,0.41
0.26,0.32,0.4,0.5,0.64,0.86,0.96,1.02,1.05,1.06,1.05,0.98,0.8,0.6,0.54,0.54
1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1,1.1
```

ตารางที่ 1.12 ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในฤดูฝน (file WGEN.DAT)

```
4.2,5.0,5.3,5.8,5.2,4.9,4.7,4.2,4.3,4.4,4.2,3.7
1.5,200,3
1.04,1.04,1.04,1.04,1.12,1.12,1.12,1.12,1.27,1.27,1.27,1.27,1.18,1.18,1.18,1.18,.98,.98,.98,.98
```

ตารางที่ 1.13 ข้อมูลอาคารควบคุมน้ำ (file ST.D1 - ST.D9)

```
"1","HR RMC 0+000","F",152.2,4.5,.73,0
"2","HR LMC 0+000","F",155.42,1.5,.49,0
"3","SPILLWAY","W",160,43.5,2.15,0
"4","RIVER OUTLET","F",142,3.75,.53,0

"5","HR 1L RMC 0+000","F",147.349,1.5,.582,0
"6","CH 1L RMC 3+615","S",141.76,3.22,1.0,-0.806
"7","HR 1R-1L RMC 0+000","S",0,0,0,0
"8","CH 1L RMC 11+520","S",139.614,2,1.1,-0.556
"9","HR 4R-1L RMC 0+000","T",4.292,-43.901,0,0
"10","CH 1L RMC 21+231","S",0,0,0,0
"11","HR 5R-1L RMC 0+000","T",0,0,0,0
"12","CH 12+850 RMC","S",147.007,4,.465,-1.286

"13","HR 2L RMC 0+000","S",145.294,2.5,.776,-.853
"14","HR 1R-2L RMC 0+000","T",9.615,138.029,0,0
"15","CH 2L RMC 2+950","S",0,0,0,0
"16","CH 2L RMC 7+570","S",0,0,0,0
"17","CH 2L RMC 11+551","S",0,0,0,0
"18","CH 28+000 RMC","S",0,0,0,0

"19","HR 1R LMC 0+000","S",0,0,0,0
"20","HR 2R LMC 0+000","S",152.827,.8,.662,-.596
"21","CH 7+850 LMC","S",151.43,4,.814,-.926
"22","HR 3R LMC 0+000","T",6.452,-39.923,0,0
"23","CH 17+200 LMC","S",149.803,4,.8,-.95
"24","HR 3R-1 LMC 0+000","T",4.237,-4.932,0,0
"25","CH 23+223 LMC","S",148.947,4,.601,-1.113
"26","HR 4R LMC 0+000","W",0,2.67,1.7,0

"27","CH 28+950 LMC","S",147.569,2,.789,-1.109
"28","HR 5R LMC 0+000","T",10.753,-116.43,0,0
"29","HR 6R LMC 0+000","T",9.174,-66.275,0,0
"30","HR 7R LMC 0+000","T",16.129,-114.5,0,0
"31","CH 42+400 LMC","S",145.436,2,.464,-1.054
"32","CH 58+075 LMC","S",141.344,1.8,1.368,-.618
"33","HR 12R LMC 0+000","T",10.989,98.791,0,0
```

ตารางที่ 1.13 (ต่อ) ข้อมูลอาคารควบคุมน้ำ (Files ST.D1-ST.D9)

```
"34","HR 3L RMC 0+000","T",10.101,-144.313,0,0
"35","CH 43+750 RMC","S",141.76,6.90,0.524,-1.116
"36","HR 4R RMC 0+000","T",23.256,70.023,0,0
"37","HR 2L-4R RMC 0+000","T",7.576,-53.03,0,0
"38","CH 4R RMC 15+457","S",0,0,0,0
"39","CH 57+800 RMC","S",139.414,4,.953,-.953

"40","CH 63+540 RMC","S",138.721,4,.83,-1.023
"41","HR 6R RMC 0+000","T",23.256,-133.791,0,0
"42","HR 7R RMC 0+000","T",28.571,-457.143,0,0
"43","HR 4L-7R RMC 0+000","T",5.495,0,0,0
"44","CH 7R RMC 5+980","S",138.81,1.25,0.354,-1.044
"45","HR 5L-7R RMC 0+000","T",3.559,0,0,0

"46","HR 9L RMC 0+000","T",6.711,187.557,0,0
"47","HR 9AL RMC 0+000","T",4.065,0,0,0
"48","CH 71+130 RMC","S",138.46,3,1.629,-.809
"49","HR 8R RMC 0+000","T",27.933,-209.497,0,0
"50","HR 3L-8R RMC 0+000","T",16.393,0,0,0
"51","CH 8R RMC 6+000","S",138.28,1.25,0.666,-0.911

"52","HR 11L RMC 0+000","T",12.346,-203.185,0,0
"53","CH 77+700 RMC","S",138.024,2,1.621,-.639
"54","HR 12L RMC 0+000","T",6.098,-81.207,0,0
"55","CH 84+250 RMC","S",137.109,1.8,.677,-1.048
"56","HR 13R RMC 0+000","T",13.868,-52.792,0,0
"57","CH 86+955 RMC","S",136.696,1.4,.633,-1.337
"58","HR 13BR RMC 0+000","T",6.494,4.481,0,0
```

ตารางที่ 1.14 ข้อมูลระบบชลประทาน และฝนใช้การ (file SYSTEM.Fix)

```
LAM PAO
34 58
1 2 1   13840   4    1 -12  -6 -7          2      1 0.7   2 0.3
1 2 2   10672   2    5  -8                 4      2 0.3   3 0.2   6 0.4  12 0.1
1 2 3    7706   2    8 -10                 1      6 1.0
1 2 4   10732   1   10                     2      6 0.2   8 0.8
1 2 5    6900   1    7                     1      6 1.0
1 3 1   11240   3   12 -18 -13             2      4 0.1  12 0.9
1 3 2   10710   2   13 -15                 2      4 0.9   5 0.1
1 3 3    6086   2   15 -16                 1      4 1.0
1 3 4    9554   2   16 -17                 1      6 1.0
1 3 5    8690   1   17                     2      6 0.3   8 0.2
2 4 1    9270   2    2 -21                 2      1 0.5  15 0.5
2 4 2    6904   2   21 -23                 1      2 1.0
2 4 3    6486   2   23 -25                 1      3 1.0
2 4 4   12290   2   25 -27                 3      3 0.5   6 0.3   7 0.2
2 5 1   19228   2   27 -29                 2      7 0.1  16 0.9
2 5 2   11470   2   29 -31                 2      7 0.5  16 0.5
2 5 3    7742   2   31 -32                 2      7 0.1  16 0.9
2 5 4    7580   1   32                     2      7 0.3  14 0.7
1 6 1   11590   2   18 -35                 2      4 0.7   5 0.3
1 6 2    7913   2   35 -39                 2      5 0.6  13 0.4
1 6 3   10740   2   36 -38                 1     13 1.0
1 6 4   10154   1   38                     2     10 0.7  13 0.3
1 7 1    9750   6   39 -48 -46 -49 -42 -41 3      8 0.6   9 0.1  13 0.3
1 7 2   11956   1   41                     2      8 0.8   9 0.2
1 7 3    6858   2   42 -44                 2      8 0.1   9 0.9
1 7 4    9460   1   44                     2      9 0.5  10 0.5
1 8 1    8334   2   46  47                 1     10 1.0
1 8 2    4061   3   49 -51 -50             1     10 1.0
1 8 3    6030   1   50                     1     10 1.0
1 8 4    7530   1   51                     1     11 1.0
1 9 1    7789   3   48 -47 -53             2      9 0.5  11 0.5
1 9 2   10740   3   53 -57 -56             1     11 1.0
1 9 3    6840   1   56                     1     11 1.0
1 9 4    5740   1   57                     1     14 1.0
```

ตารางที่ 1.14 (ต่อ) ข้อมูลระบบชลประทานและฝนใช้การ (file SYSTEM.Fix)

```
16
E34
LP3
LP4
LP5
LP6
LP7
LP8
LP9
LP10
LP11
LP12
1L1 RMC
KM2 4R RMC
KM91 RMC
KM4+650 LMC
KM42 LMC
50  200.00  5.00
50  200.00  5.00
50  200.00  5.00
50  200.00  5.00
50  200.00  5.00
65  373.75  6.75
65  373.75  6.75
60  360.00  7.00
45 1350.00 31.00
50  200.00  5.00
50  200.00  5.00
50  200.00  5.00
```

PROGRAM WUA (VERSION 1/APR 1988) : WATER USE ANALYSIS

LAM PAO IRRIGATION PROJECT
DATE OF DATA PROCESSING : 14/ 6/1988

W E E K L Y A N A L Y S I S F O R A L L Z O N E S

WEEK : 23
DATE START : 3/ 6

ZONE/ SECTION/ CANAL	COM= MAND AREA	IRRIG ATED AREA	IRRIG ATION DEPTH	EFFEC TIVE RAIN	CIR ALL CROPS	CIR ALL CROPS	LOSSES	IRRG. SUPPLY	IRRIG. EFFICI= ENCY
-	RAI	RAI	MM	MM	MM	L/S	L/S	L/S	%
1/ 2/RMC	13840	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 2/RMC	10672	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 2/RMC	7706	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 2/RMC	10732	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 2/RMC	6900	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 3/RMC	11240	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 3/RMC	10710	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 3/RMC	6086	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 3/RMC	9554	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 3/RMC	8690	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 4/LMC	9270	1159	129	0	129	397	596	993	40
2/ 4/LMC	6904	863	129	0	129	295	295	590	50
3/ 4/LMC	6486	810	129	0	129	277	646	923	30
4/ 4/LMC	12290	1536	129	0	129	524	524	1048	50
1/ 5/LMC	19228	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 5/LMC	11470	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 5/LMC	7742	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 5/LMC	7580	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 6/RMC	11590	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 6/RMC	7918	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 6/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 6/RMC	10154	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 7/RMC	9750	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 7/RMC	11956	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 7/RMC	6858	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 7/RMC	9460	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 8/RMC	8334	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 8/RMC	4061	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 8/RMC	6030	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 8/RMC	7530	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 9/RMC	7789	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 9/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 9/RMC	6840	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 9/RMC	5740	0	0	0	0	0	0	0	****

รูปที่ 1.12 Example output, weekly analysis for all zones

PROGRAM WUA (VERSION 1/APR 1988) : WATER USE ANALYSIS

LAM PAO IRRIGATION PROJECT
DATE OF DATA PROCESSING : 14/ 6/1988

W E E K L Y A N A L Y S I S F O R A L L Z O N E S

WEEK : 24
DATE START : 10/ 6

ZONE/ SECTION/ CANAL	COM= MAND AREA	IRRIG ATED AREA	IRRIG ATION DEPTH	EFFEC TIVE RAIN	CIR ALL CROPS	CIR ALL CROPS	LOSSES	IRRG. SUPPLY	IRRIG. EFFICI= ENCY
-	RAI	RAI	MM	MM	MM	L/S	L/S	L/S	%
1/ 2/RMC	13840	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 2/RMC	10672	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 2/RMC	7706	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 2/RMC	10732	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 2/RMC	6900	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 3/RMC	11240	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 3/RMC	10710	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 3/RMC	6086	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 3/RMC	9554	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 3/RMC	8690	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 4/LMC	9270	2317	120	10	110	677	677	1354	50
2/ 4/LMC	6904	1726	120	10	110	504	756	1260	40
3/ 4/LMC	6486	1622	120	20	100	430	645	1075	40
4/ 4/LMC	12290	3072	120	10	110	896	896	1792	50
1/ 5/LMC	19228	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 5/LMC	11470	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 5/LMC	7742	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 5/LMC	7580	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 6/RMC	11590	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 6/RMC	7918	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 6/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 6/RMC	10154	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 7/RMC	9750	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 7/RMC	11956	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 7/RMC	6858	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 7/RMC	9460	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 8/RMC	8334	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 8/RMC	4061	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 8/RMC	6030	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 8/RMC	7530	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 9/RMC	7789	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 9/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 9/RMC	6840	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 9/RMC	5740	0	0	0	0	0	0	0	****

รูปที่ 1.12 (ต่อ)

PROGRAM WUA (VERSION 1/APR 1988) : WATER USE ANALYSIS

LAM PAO IRRIGATION PROJECT
DATE OF DATA PROCESSING : 14/ 6/1988

W E E K L Y A N A L Y S I S F O R A L L Z O N E S

WEEK : 25
DATE START : 17/ 6

ZONE/ SECTION/ CANAL	COM= MAND AREA	IRRIG ATED AREA	IRRIG ATION DEPTH	EFFEC TIVE RAIN	CIR ALL CROPS	CIR ALL CROPS	LOSSES	IRRG. SUPPLY	IRRIG. EFFICI= ENCY
-	RAI	RAI	MM	MM	MM	L/S	L/S	L/S	%
1/ 2/RMC	13840	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 2/RMC	10672	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 2/RMC	7706	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 2/RMC	10732	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 2/RMC	6900	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 3/RMC	11240	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 3/RMC	10710	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 3/RMC	6086	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 3/RMC	9554	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 3/RMC	8690	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 4/LMC	9270	3476	133	0	133	1222	2851	4073	30
2/ 4/LMC	6904	2589	133	0	133	909	2121	3030	30
3/ 4/LMC	6486	2432	133	0	133	854	1281	2135	40
4/ 4/LMC	12290	4609	133	0	133	1618	2427	4045	40
1/ 5/LMC	19228	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 5/LMC	11470	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 5/LMC	7742	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 5/LMC	7580	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 6/RMC	11590	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 6/RMC	7918	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 6/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 6/RMC	10154	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 7/RMC	9750	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 7/RMC	11956	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 7/RMC	6858	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 7/RMC	9460	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 8/RMC	8334	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 8/RMC	4061	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 8/RMC	6030	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 8/RMC	7530	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 9/RMC	7789	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 9/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 9/RMC	6840	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 9/RMC	5740	0	0	0	0	0	0	0	****

รูปที่ 1.12 (ต่อ)

PROGRAM WUA (VERSION 1/APR 1988) : WATER USE ANALYSIS

LAM PAO IRRIGATION PROJECT
DATE OF DATA PROCESSING : 14/ 6/1988

W E E K L Y A N A L Y S I S F O R A L L Z O N E S

WEEK : 26
DATE START : 24/ 6

ZONE/ SECTION/ CANAL	COM= MAND AREA	IRRIG ATED AREA	IRRIG ATION DEPTH	EFFEC TIVE RAIN	CIR ALL CROPS	CIR ALL CROPS	LOSSES	IRRG. SUPPLY	IRRIG. EFFICI= ENCY
-	RAI	RAI	MM	MM	MM	L/S	L/S	L/S	%
1/ 2/RMC	13840	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 2/RMC	10672	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 2/RMC	7706	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 2/RMC	10732	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 2/RMC	6900	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 3/RMC	11240	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 3/RMC	10710	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 3/RMC	6086	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 3/RMC	9554	0	0	0	0	0	0	0	****
5/ 3/RMC	8690	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 4/LMC	9270	4635	111	67	44	539	233	772	70
2/ 4/LMC	6904	3452	111	70	41	374	883	1257	30
3/ 4/LMC	6486	3243	111	70	41	351	528	879	40
4/ 4/LMC	12290	6145	111	69	42	688	678	1366	50
1/ 5/LMC	19228	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 5/LMC	11470	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 5/LMC	7742	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 5/LMC	7580	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 6/RMC	11590	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 6/RMC	7918	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 6/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 6/RMC	10154	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 7/RMC	9750	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 7/RMC	11956	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 7/RMC	6858	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 7/RMC	9460	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 8/RMC	8334	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 8/RMC	4061	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 8/RMC	6030	0	0	0	0	0	0	0	****
4/ 8/RMC	7530	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 9/RMC	7789	0	0	0	0	0	0	0	****
2/ 9/RMC	10740	0	0	0	0	0	0	0	****
3/ 9/RMC	6840	0	0	0	0	0	0	0	****
1/ 9/RMC	5740	0	0	0	0	0	0	0	****

รูปที่ 1.12 (ต่อ)

PROGRAM WUA (VERSION 1/APR 1988) : WATER USE ANALYSIS

LAM PAO IRRIGATION PROJECT
DATE OF DATA PROCESSING : 14/ 6/1988

S E A S O N A N A L Y S I S B Y W A T E R M A S T E R S E C T I O N S

PERIODE OF ANALYSIS : WEEK 23 (3/ 6) 1988 TO
: WEEK 26 (24/ 6) 1988 : WET SEASON
WATER MASTER SECTION : 4
ZONES IN WATER MASTER SECTION : 1/2/3/4/
COMMAND AREA : 34950

WEEK	DATE START	IRRIGATED AREA	IRRIGATION DEPTH	EFFECTIVE RAIN	CIR ALL CROPS	CIR ALL CROPS	LOSSES	IRRG. SUPPLY	IRRIG. EFFICIENCY
-	DAY/MON	RAI	MM	MM	MM	L/S	L/S	L/S	%
23	3/ 6	4368	129	0	129	1493	2061	3554	42
24	10/ 6	8737	120	12	108	2507	2974	5481	46
25	17/ 6	13106	133	0	133	4603	8680	13283	35
26	24/ 6	17475	111	69	42	1952	2322	4274	46
TOTAL [MCM]			8	2	6		10	16	40%

รูปที่ 1.13 Example output, season analysis by Water Master Sections

ROGRAM WUA (VERSION 1/APR 1988) : WATER USE ANALYSIS

AM PAO IRRIGATION PROJECT
ATE OF DATA PROCESSING : 14/ 6/1988

E A S O N A N A L Y S I S F O R T H E L E F T M A I N C A N A L

ERIODE OF ANALYSIS : WEEK 23 (3/ 6) 1988 TO
: WEEK 26 (24/ 6) 1988 : WET SEASON
ATER MASTER SECTIONS : 4/5/
OMMAND AREA : 80970

EEK	DATE START	IRRIGATED AREA	IRRIGATION DEPTH	EFFECTIVE RAIN	CIR ALL CROPS	CIR ALL CROPS	LOSSES	IRRG. SUPPLY	IRRIG. EFFICIENCY.
	DAY/MON	RAI	MM	MM	MM	L/S	L/S	L/S	%
3	3/ 6	4368	129	0	129	1493	2061	3554	42
4	10/ 6	8737	120	12	108	2507	2974	5481	46
5	17/ 6	13106	133	0	133	4603	8680	13283	35
5	24/ 6	17475	111	69	42	1952	2322	4274	46
OTAL [MCM]			8	2	6		10	16	40%

รูปที่ 1.13 (ต่อ)

ภาคผนวก

ตารางที่ ผ1

Input data description DGEN.DAT (actual data exhibited in Table 1.12)

DGEN.DAT 4 crops; rice, long field crop, short field crop, fish pond

Line 1 ETo (1..12) for 12 months in mm/d
Line 2 Percolation in mm/d
Line 3 Water established for crop 1, Land preparation period for rice in mm,weeks
Line 4 same as line 3 for crop 2
Line 5 same as line 3 for crop 3
Line 6 same as line 3 for crop 4 (fish pond)
Line 7 Kc (1..20) for crop 1
Line 8 Kc (1..16) for crop 2
Line 9 Kc (1..14) for crop 3
Line 10 Kc (1..20) for crop 4 (fish pond)

ตารางที่ ผ2

Input data description WGEN.DAT (actual data exhibited in Table 1.13)

ตารางที่ ผ3

WGEN.DAT only rice crop

Line 1 ETo (1..12) for 12 months in mm/d
Line 2 Percolation, Water established, Land preparation period in mm/d, mm, weeks
Line 3 Kc (1..20) for 20 weeks

Input data description ST.D1 - ST.D9
(actual data exhibited in Table 1.14)

Line 1 Structure no., structure name, structure type and Structure type related coefficients

Line 2 same as line 1 for the next structure

ตารางที่ ผ4 Input data description SYSTEM.FIX

(actual data exhibited in table 1.15)

Line	Name of variable	Format	Description
1	Proj Y	A 80	name of project
2	n Z	I	no. of Zones
	n Struc	I	no. of structures
3	C_WMS_Z [I, 1]	I	code for canal, RMC = 1, LMC = 2
	C_WMS_Z [I, 2]	I	WMS number
	C_WMS_Z [I, 3]	I	Zone number
	CA [I]	R	Command area in above Zone
	SI	I	no of structures involved in irrigation water supply calculation to above Zone.
	StrucZon [I, 1]	I	no. of first structure involved in supply calculation ; + means discharge enters zone, - means discharge leaves zone.
	etc. until StrucsZon [I, SI]		
	RI	I	no.of rainfall stations involved in calculating rainfall to the above Zone.
	Rains Zon [I, 1, 1]	I	no of the first contributing station
	Rains Zon [I, 2, 1]	I	fraction of rainfall of that station contributing to the rainfall of above Zone.
	etc. until Rains Zon [I, 1, RI] and Rains Zon [I, 2, RI]		

ตารางที่ R4 (ต่อ)

Line	Name of variable	Format	Description
4 etc. until 3+nZ	repeat line 3 analogons for all Zones		
next	n RainSta	I	no. of rainfall stations
next	RS Name [1]	A 15	name of first rainfall station
etc.	until RSName [n Rain Sta]		name of last rainfall station
next	RE__limit [1]	R	below that value the effec. rain is equal to actual rain ; 1 stands for January
	RE__a [1]	R	coefficient a in effec. rainfall equation
	RE__b [1]	R	coefficient b in effective rainfall equation
next	repeat until RE limit [12] RE a [12] RE b [12]	 R R R	

* I = Integer value

R = Real value

An = Alpha numerical value, length m

use blanks as delimiter between values

บทปฏิบัติการที่ 1

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้น้ำของโครงการโดยโปรแกรม WUA

กำหนดให้งานส่งน้ำและบำรุงรักษา (Water Master Section) ที่ 2 ของโครงการ KU มีพื้นที่ 30,000 ไร่ ประกอบด้วย 4 โซน ดังแสดงในรูปที่ 1.14

จงวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Use Efficiency) ในช่วงฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2537 (1 ธันวาคม 2537 - 30 เมษายน 2538) ของทั้ง 4 โซน และของงานส่งน้ำฯ ที่ 2 เป็นรายสัปดาห์ โดยกำหนดข้อมูลฝน สมการผนใช้การ พื้นที่เพาะปลูก ข้อมูลอาคารวัดน้ำ ให้ดังต่อไปนี้

Dry Season 1994 (1 December 1993-30 April 1994)

1. RAINFALL DATA

MONTH	RAIN 1 (mm.)	RAIN 2 (mm.)
December	-	-
January	15	20
February	-	-
March	20	25
April	50	60

2. EFFECTIVE RAINFALL FORMULA

If $R \leq R^*$; $RE = R$

$R > R^*$; $RE = (R + a)/b$

R, RE = Rainfall, Effective Rainfall in mm./week

MONTH	R*(mm./week)	a	b
Nov. - May	50	200	5
Jun. - Jul.	65	373.75	6.75
Aug.	60	360	7
Sep. - Oct.	45	1,350	31

3. LAND USE DATA

Assume 100 % Paddy growing in all zones. The land preparation for paddy progresses uniformly at rate $(\frac{100}{6})$ % each week and complete at the end of week 6. The ratio of transplanted to nursery area is 10:1

4. WATER LEVEL DATA

Structure No.	U/S Depth m.(MSL.)	D/S Depth m.(MSL.)	G_o (m.)
1	103.3	102.5	0.7
2	102.5	102.0	0.7
3	102.0	101.6	0.5
4	98.5	98.45	0.01
5	99.0	98.6	0.4
6	99.0	98.7	0.4

STRUCTURE DATA

STRUCTURE (1) TO (6) ARE TYPE "S" [$c_s = (\frac{1}{c}\ \frac{h_s}{G_0})^{1/m}$]

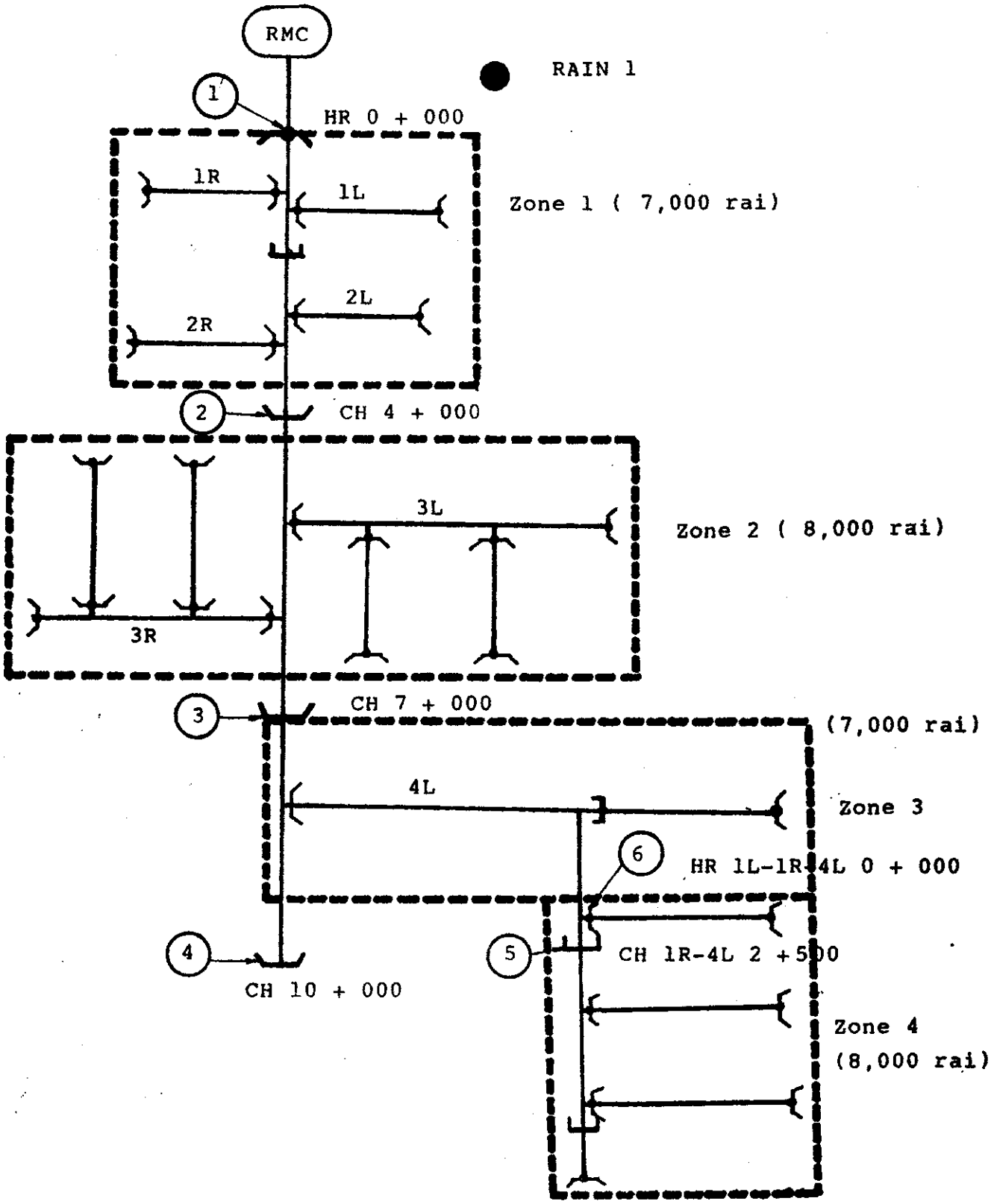
Structure No.	SL	L	C	m.
1	100.0	5.0	1.0	- 0.8
2	99.5	4.0	1.0	- 0.75
3	99.0	3.6	1.0	- 0.75
4	98.0	3.0	1.0	- 0.75
5	97.0	2.0	1.0	- 0.75
6	97.01	1.5	1.0	- 0.75

ให้สมมติข้อมูลฝนรายวัน ระดับน้ำ ขนาดการเปิดบาน จากข้อมูลที่กำหนดให้

WUA PRACTICE

KU - IRRIGATION PROJECT

SECTION 2



รูปที่ 1.14 KU Irrigation Project

บทที่ 2

การวางแผนการส่งน้ำและการติดตามผลการส่งน้ำโดยใช้โปรแกรม WASAM

2.1 คำนำ

การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัดสรรน้ำ เป็นสิ่งจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งน้ำและใช้น้ำของโครงการชลประทาน โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่เป็นโครงการชลประทานที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับสองของประเทศไทยคือ ประมาณ 3 ล้านไร่ 2 ใน 3 ของพื้นที่ปลูกข้าว และที่เหลืออีกหนึ่งในสามปลูกพืชไร่และพืชอื่น ๆ พืชไร่หลักที่สำคัญคืออ้อย ทางโครงการมองเห็นถึงความสำคัญของการมีระบบจัดสรรน้ำที่มีประสิทธิภาพ จึงได้มีการพัฒนาและนำระบบการจัดสรรน้ำและติดตามผลการส่งน้ำ (Water Allocation Scheduling and Monitoring หรือเรียกโดยย่อว่า WASAM) ขึ้นมาเป็นเครื่องมือช่วยในการจัดสรรน้ำของโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 เป็นต้นมา (ภราดา และวราวุธ, 2536)

เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการของโปรแกรม อาทิเช่นโปรแกรมเดิมเขียนด้วยภาษา BASICA ไม่มีเมนูและทำงานแบบไม่ Interactive การแก้ไขข้อมูลต้องเข้าไปแก้ใน Data line ของโปรแกรม การ Run โปรแกรมค่อนข้างยุ่งยาก ภราดาและวราวุธ (2536) จึงได้พัฒนา WASAM Version 1.1 ขึ้นมา WASAM 1.1 เขียนด้วยภาษาปาสคาลให้ทำงานแบบ Interactive มี Pull-Down Menu เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น วราวุธและวัชระ (2538) ได้พัฒนา WASAM Version 2 โดยใช้ Quick Basic จุดเด่นของ WASAM 2 คือทำงานแบบ Interactive มีเมนูควบคุมการทำงาน และเพิ่มขีดความสามารถในการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำของงานส่งน้ำต่าง ๆ เป็นรายสัปดาห์และสามารถรายงานค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำของสัปดาห์ที่ผ่านมาในรายงานการจัดสรรน้ำที่ส่งให้หัวหน้าโครงการและหัวหน้างานส่งน้ำฯ ได้ด้วย นอกจากนี้กรมชลประทาน

วิทยาลัยการชลประทานและ NEWMASIP. คู่มือการใช้โปรแกรม WASAM (Windows Version). กรมชลประทาน. สิงหาคม 2537.

โดยโครงการพัฒนาชลประทาน NEWMASIP ได้พัฒนา WASAM (windows Version) ขึ้นมาเพื่อให้สามารถ Run ภายใต้โปรแกรม WINDOWS ได้ (วิทยาลัยการชลประทาน และ NEWMASIP. 2537)

2.2 วัตถุประสงค์ของโปรแกรม WASAM

(1) เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ ปตร. ต่าง ๆ เป็นประจำทุกสัปดาห์

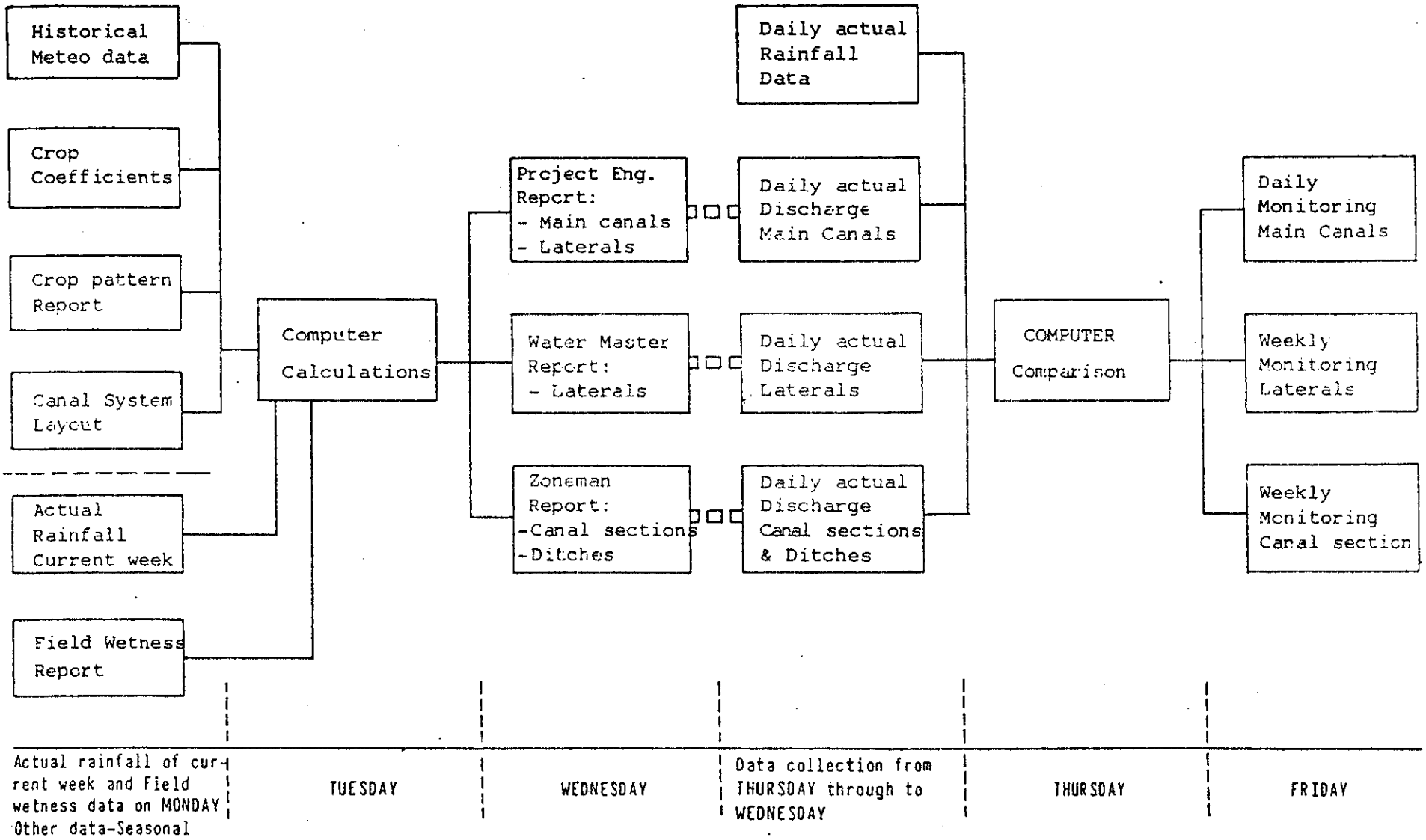
(2) จัดทำรายงานการส่งน้ำให้โครงการชลประทานต่าง ๆ ประจำสัปดาห์ โดยแบ่งรายงานออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับพนักงานส่งน้ำ หัวหน้างานส่งน้ำ และหัวหน้าโครงการฯ

(3) เพื่อรายงานปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องใช้ในระบบชลประทานแม่กลองใหญ่ ไปยังฝ่ายจัดสรรน้ำ กรมชลประทานสามเสน ซึ่งเป็นผู้ติดต่อประสานงานกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ในเรื่องการระบายน้ำจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนเขาแหลมให้โครงการแม่กลองใหญ่

(4) เพื่อติดตามผลการส่งน้ำจริงแล้ว นำมาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่คำนวณไว้โดยคอมพิวเตอร์ เพื่อพิจารณาปรับปรุงการส่งน้ำให้ดีขึ้น

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว โปรแกรม WASAM ได้คำนวณความต้องการน้ำชลประทานของช่วงคลองต่าง ๆ จากข้อมูลการเพาะปลูก ฝน ระดับน้ำในแปลงนา การสูญเสียน้ำในระบบและประสิทธิภาพการใช้น้ำในแปลงนา แล้วนำมาพิจารณากำหนดปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้โครงการและ ปตร. ต่าง ๆ ตามลักษณะทางชลศาสตร์ของระบบส่งน้ำ รายละเอียดโครงสร้างของโปรแกรม WASAM แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับ WASAM ประจำสัปดาห์ แบ่งออกเป็น 3 กิจกรรม คือ

1. การจัดสรรน้ำ (Water Allocation Scheduling) ระหว่างวันจันทร์ - วันพุธ
2. การส่งน้ำจริง (Actual Water Distribution) ระหว่างวันพฤหัสบดี - วันพุธ
3. การติดตามผลการส่งน้ำ (Monitoring) ระหว่างวันพุธ - วันศุกร์



รูปที่ 2.1 Water Allocation Scheduling and Monitoring Program of Meklong Irrigation Projects (Ilaco/Empire M&T. 1988 [Ilaco/Empire M&T. 1988 (a)]

2.3 หลักการของโปรแกรม WASAM

หลักการของโปรแกรม WASAM ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

หน่วยการคำนวณของโปรแกรม การรายงานผลการส่งน้ำและติดตามผลคือพื้นที่ควบคุม โดยช่วงคลองหนึ่ง ขอบเขตของช่วงคลองจะถูกกำหนดโดยอาคารที่ใช้วัดน้ำและควบคุมน้ำ 2 อาคาร และช่วงคลองนั้นจะต้องอยู่ในความรับผิดชอบของโซนเดียว มีขนาดพื้นที่เฉลี่ย 3,000 ไร่ ในการ Run โปรแกรมต้องการข้อมูล 3 ส่วน ในการจัดสรรน้ำ คือ

(1) ข้อมูลระบบส่งน้ำและใช้น้ำ ซึ่งเป็นข้อมูลคงที่ (Fixed System Data)

(2) ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งเป็นข้อมูลรายฤดูกาล และ

(3) ข้อมูลฝนและสภาพน้ำในแปลงนา ซึ่งเป็นข้อมูลรายสัปดาห์

โปรแกรม WASAM ต้องการทราบข้อมูลแสดงลักษณะและสภาพของระบบส่งและใช้น้ำของโครงการ ซึ่งเป็นข้อมูลคงที่ (Fixed System Data) ได้แก่ช่วงฤดูการเพาะปลูก สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ค่าการรั่วซึมน้ำในแปลงนา ค่าความต้องการน้ำสำหรับการเตรียมแปลง ประสิทธิภาพการใช้น้ำในระดับแฉก ฝนคาดการณ์ (Expected Rainfall) ปริมาณการใช้น้ำของพืชและลักษณะเฉพาะของระบบคลองส่งน้ำ ข้อมูลส่วนนี้จะถูกป้อนเข้าโปรแกรมในครั้งแรกที่นำโปรแกรมไปใช้กับโครงการใหม่ หรือเมื่อมีการเปลี่ยนลักษณะและสภาพของโครงการนั้น ส่วนข้อมูลชนิด. พื้นที่และสัปดาห์ที่เริ่มปลูกพืชของแต่ละฤดูกาลจะถูกป้อนเข้าเมื่อเริ่มฤดูกาลส่งน้ำชลประทาน

ทุกวันจันทร์พนักงานส่งน้ำจะออกไปตรวจดูสภาพน้ำในแปลงเพาะปลูกที่เป็นตัวแทนในงานส่งน้ำฯ และรายงานฝนตกจริงของสัปดาห์ปัจจุบันของสถานีหลักในเขตโครงการฯ มายังฝ่ายจัดสรรน้ำฯ ของโครงการฯ (การรายงานฝนจะทำทุกวัน) การรายงานสภาพน้ำในแปลงนาจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ระหว่างการเตรียมแปลง (6 สัปดาห์แรกของการส่งน้ำ) ซึ่งจะกำหนดเป็นร้อยละของพื้นที่ที่มีน้ำยังต่อพื้นที่ทั้งหมดใน Canal Section (ดูตารางที่ 2.1) และหลังการเตรียมแปลงซึ่งรายงานโดยใช้แผ่นวัดระดับน้ำวัดจากแปลงตัวอย่างที่ได้เลือกไว้ (ดูตารางที่ 2.2)

ในวันอังคาร ข้อมูลรายสัปดาห์จะถูกป้อนเข้าไปยังคอมพิวเตอร์และคอมพิวเตอร์จะคำนวณหาความต้องการใช้น้ำและปริมาณน้ำที่แต่ละหน่วย (ช่วงคลอง) ต้องการ รวมทั้งปริมาณน้ำที่จะต้อง

ตารางที่ 2.1 การรายงานสภาพน้ำในแปลงนาในระหว่างการเตรียมแปลง (%)
(วราวุธและวัชระ. 2538)

	% พื้นที่					
	สัปดาห์ที่ (นับจากเริ่มส่งน้ำ)					
	1	2	3	4	5	6
ขาดน้ำ ถ้าพื้นที่น้ำขัง	<20	<40	<60	<70	<80	<90
พอดี ถ้าพื้นที่น้ำขัง	20-30	40-50	60-75	70-90	80-100	90-100
น้ำมาก ถ้าพื้นที่น้ำขัง	>30	>50	>75	>90	100	100

ตารางที่ 2.2 การรายงานสภาพน้ำในแปลงนา (Field Wetness) หลังการเตรียมแปลง (วราวุธและวัชระ. 2538)

ระดับน้ำในแปลง	การรายงาน	FW*	DS(FW)**
0 - 4 ซม.	แห้งมาก	1	+ 30
4 - 6 ซม.	แห้ง	2	+ 15
6 - 10 ซม.	ปกติ	3	0
10 - 12 ซม.	เปียก	4	- 15
มากกว่า 12 ซม.	เปียกมาก	5	- 30

* FW = Field Wetness

** DS(FW) = ค่าปรับแก้เนื่องจากสภาพน้ำในแปลงนา

ส่งให้ ปตร. ต่าง ๆ หลังจากนั้นจะพิมพ์ข้อมูลออกมาเพื่อให้หัวหน้างานจัดสรรน้ำฯ ของโครงการฯ ตรวจสอบ แล้วจึงพิมพ์รายงานการจัดสรรน้ำ สำหรับหัวหน้าโครงการฯ และหัวหน้างานส่งน้ำฯ ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

ทุกวันพุธ ทางงานจัดสรรน้ำฯ จะจัดส่งรายงานเหล่านี้ไปยังงานส่งน้ำฯ ต่าง ๆ เพื่อให้พนักงานส่งน้ำใช้เป็นเกณฑ์ในการ ปิด-เปิด ควบคุม ปตร. ต่าง ๆ โดยเริ่มตั้งแต่เช้าวันพฤหัสบดีเป็นต้นไป

การควบคุมการส่งน้ำให้เกษตรกรจริงในสนามอาจไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ถ้า

1. ฝนที่ตกจริงมากกว่าหรือน้อยกว่าฝนคาดการณ์

2. ปริมาณน้ำต้นทุนที่เขื่อนหรืองานโครงการน้อยกว่าความต้องการน้ำชลประทานของระบบ ดังนั้นจึงต้องมีการติดตามผลของการส่งน้ำ (Monitoring) เพื่อวิเคราะห์ผลการส่งน้ำว่าเป็นไปตามแผนหรือไม่ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้น้ำว่าสูงหรือต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด การติดตามผลจะก่อให้เกิดผลดีต่อการจัดสรรน้ำดังนี้

ผลในระยะสั้น (Short Term) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำที่ส่งได้จริงกับแผนที่วางไว้ และสอบหาสาเหตุที่ไม่สามารถส่งได้ตามแผน

ผลระยะยาว (Long Term) เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณน้ำต้นทุน ปริมาณน้ำที่ต้องการและประสิทธิภาพการใช้น้ำในฤดูการเพาะปลูกที่ผ่านมา เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนและดำเนินงานในฤดูการเพาะปลูกต่อไป

WATER ALLOCATION SCHEDULING
SONG PHI NONG IRRIGATION PROJECT
Project Engineer report
Weekno. 12
date: 6 SEP 1994
Period: 24 MARCH - 30 MARCH
Average discharges in main canals and laterals in m3/s.

	Main Canal Sections			Laterals			
WNS	Name	Station	Q	Name	Q	Name	Q
1	2L	22.700	8.96	6L-2L	1.76	7L-2L	1.54
				8L-2L	3.87		
2	5L-2L	0.000	21.50	1R-5L-2L	4.12	1L-5L-2L	0.37
				2R-5L-2L	0.00	2L-5L-2L	0.86
3	5L-2L	9.813	15.08	3L-5L-2L	0.26	4L-5L-2L	1.52
				1L-2R-5L-2L	0.00		
4	5L-2L	26.401	3.87	4R-5L-2L	0.90	5L-5L-2L	1.77
5	3R-5L-2L	0.000	7.20	1L-3R-5L-2L	0.25	2L-3R-5L-2L	1.20
				3L-3R-5L-2L	2.31	4L-3R-5L-2L	0.07
				5L-3R-5L-2L	1.02		

Total Discharge into project	30.46	m3/s
Total Discharge for the Project Area	30.46	m3/s
Total Discharge to the Downstream Areas	0.00	m3/s
Water uses efficiency last week	18.00	%

(1) สำหรับนายช่างหัวหน้าโครงการฯ

WATER ALLOCATION SCHEDULING
SONG PHI NONG IRRIGATION PROJECT
Water Master Report Sector 1
Weekno. 12
date: 6 SEP 1994
Period: 24 MARCH - 30 MARCH

Zone	Canal	Station	Disch.	Norm.Req.	E.R.	F.W.R.	Act. Req.	Supply
1	2L	22.700	8.96	0.77	3	Normal	0.77	0.77
2	6L-2L	0.000	1.76	0.80	3	Normal	0.80	0.80
3	6L-2L	6.915	0.91	0.86	3	Normal	0.86	0.86
4	7L-2L	0.000	1.54	1.46	3	Normal	1.46	1.46
5	8L-2L	0.000	3.87	1.09	3	Normal	1.09	1.09
6	8L-2L	9.782	2.59	0.05	7	Normal	0.05	0.05
	1R-8L-2L	0.000	0.13	0.13	7	Normal	0.13	0.13
	1L-8L-2L	0.000	0.56	0.54	7	Normal	0.54	0.54
	2L-8L-2L	0.000	0.64	0.60	7	Normal	0.60	0.60
7	8L-2L	12.544	1.16	0.43	7	Normal	0.43	0.43
	2R-8L-2L	0.000	0.31	0.30	7	Normal	0.30	0.30
8	8L-2L	19.265	0.36	0.34	5	Normal	0.34	0.34

Total Discharge into project	8.96	m3/s
Total Discharge for This Sector	8.96	m3/s
Total Discharge to the Downstream Areas	0.00	m3/s
Water uses efficiency last week	14.00	%

(2) สำหรับหัวหน้างานส่งน้ำและบำรุงรักษา

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรายงานผลการจัดสรรน้ำ (วัชระ. 2537)

2.4 ลักษณะโครงการที่สามารถใช้ WASAM ช่วยในการจัดสรรน้ำ

WASAM สามารถใช้ได้กับโครงการซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

(1) โครงการชลประทานที่ส่งน้ำโดยวิธีการหมุนเวียนในระดับคูน้ำ (Rotation in Farm Ditch)

(2) แต่ละช่วงคลอง (Canal Sections) จะได้รับน้ำจากจุดกระจายน้ำจุดเดียวหรือพูดง่าย ๆ ว่า ระบบคลองส่งน้ำเป็นแบบ "TREE STRUCTURE"

(3) การจัดองค์กรการบริหารงานด้านการส่งน้ำและบำรุงรักษา จะเป็นไปตามรูปแบบทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันในประเทศไทย คือเจ้าหน้าที่ชลประทานดูแลระบบชลประทานหลัก (Main System) และกลุ่มเกษตรกรดูแลระบบชลประทานในแปลงนา (On-Farm Irrigation System) โดยมีการจัดแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบและสายการบังคับบัญชาดังนี้

	พ.ท. รับผิดชอบ	พ.ท. (ไร่)
กลุ่มเกษตรกร	คูน้ำหรือแฉก	300
โซนแมน	โซน (หลายคูน้ำ)	5,000-10,000
หัวหน้างานส่งน้ำ	งานส่งน้ำ (หลายโซน)	50,000
หัวหน้าโครงการ	ทั้งโครงการ (หลายงานส่งน้ำ)	300,000

2.5 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับโปรแกรม WASAM

2.5.1 ข้อมูลสำหรับคำนวณความต้องการน้ำชลประทาน

ตัวอย่างข้อมูลเพื่อการคำนวณความต้องการน้ำชลประทานของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ได้แก่

(1) Potential Evapotranspiration ซึ่งใช้ข้อมูลภูมิอากาศของ 4 สถานีเพื่อคำนวณ ETo โดยวิธี PENMAN

สถานีอุตุนิยมวิทยาทั้ง 4 สถานี คือ

- สถานีกาญจนบุรี มีข้อมูลระหว่าง 1951-1975
- สถานีอู่ทอง มีข้อมูลระหว่าง 1967-1983
- สถานีกำแพงแสน มีข้อมูลระหว่าง 1973-1983

- สถานีห้วหิน มีข้อมูลระหว่าง 1954-1975

เนื่องจากสถานีทั้ง 4 อยู่ห่างกันมากพอสมควร การนำเอาค่า ETo ไปใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยสูตร CU = Kc.ETo ทำโดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วนตามหลัก THEISSEN POLYGON ดังรูปที่ 2.3 ค่า ETo เฉลี่ยรายเดือนของแต่ละสถานีแสดงอยู่ในตารางที่ 2.3

(2) Crop Coefficients (Kc)

ค่า Kc ของข้าว และอ้อยแสดงอยู่ในตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ ส่วนพืชอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่น้อยมาก เมื่อเทียบกับข้าวและอ้อย ให้ใช้ Kc = 0.8

(3) Land Preparation สำหรับข้าว (LP)

สำหรับการปลูกข้าว กำหนดให้

DSS (Soaking Req.) = 150 มม.

Dst (Standing Water Req.)= 100 มม.

ในช่วงการเตรียมแปลงโซนแมนจะต้องออกไปสำรวจพื้นที่เตรียมแปลงในแต่ละสัปดาห์แล้วรายงานให้ WASAM ทราบเพื่อตรวจสอบว่าการเตรียมแปลงเป็นไปตามเป้าหมายหรือไม่ โดยดูจากเกณฑ์ในตารางที่ 2.1 ถ้าพื้นที่เตรียมแปลงน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในตารางให้รายงานว่าสภาพน้ำ " แห้ง " ถ้าพื้นที่เตรียมแปลงมากกว่าเกณฑ์ให้รายงานสภาพน้ำเป็น "เปียก" โปรแกรม WASAM จะนำผลการรายงานสภาพน้ำดังกล่าวไปปรับปริมาณน้ำที่ส่งซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในภายหลัง

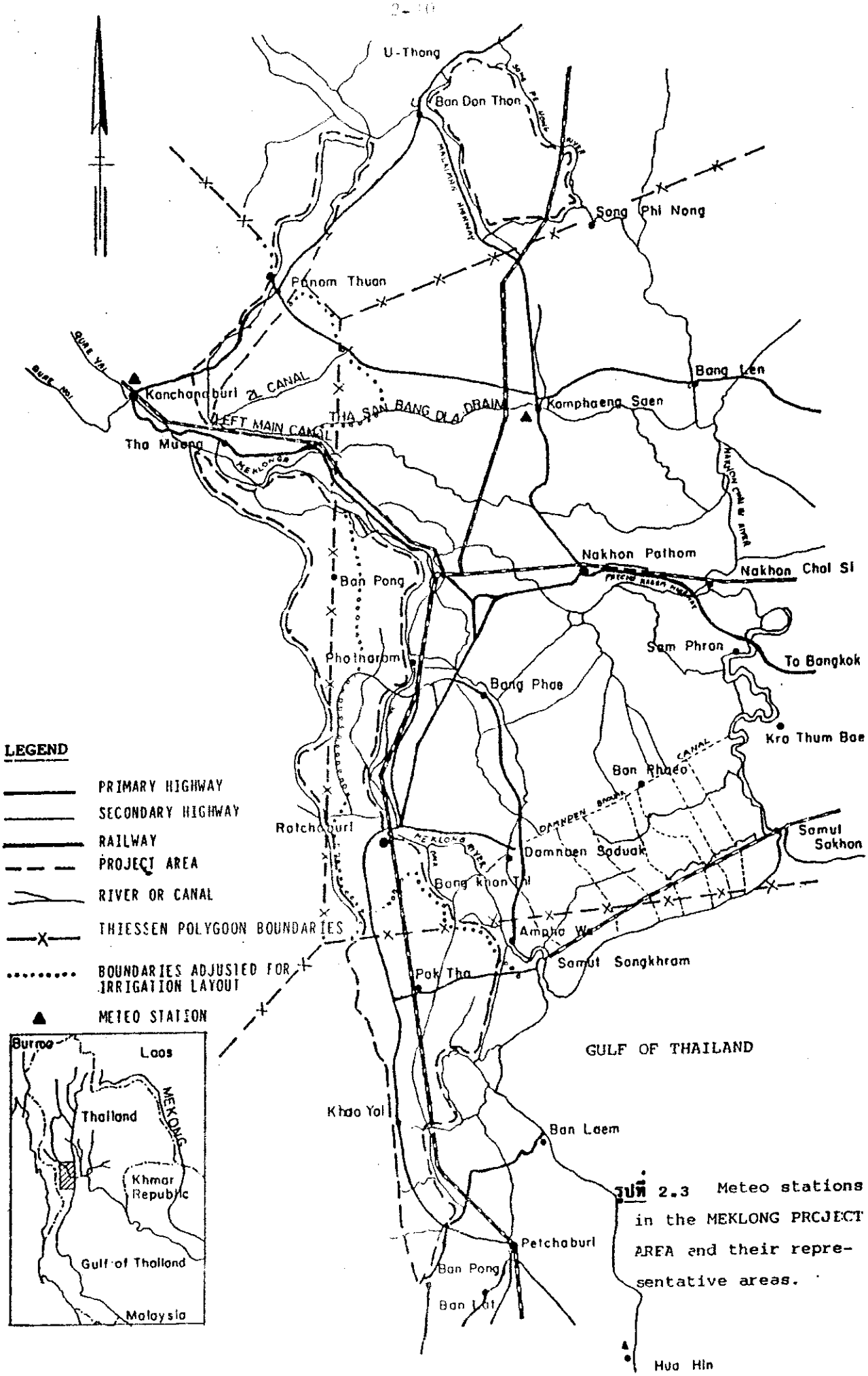
(4) Percolation (P)

Wet Season : P = 0.5 มม./วัน

Dry Season : P = 1.0 มม./วัน

(5) Pre-irrigation for Sugarcane

ความต้องการน้ำเพื่อการเตรียมแปลงอ้อย 50 มม. โดยพิจารณาว่าอ้อยมีอายุ 5 ปี ดังนั้นในแต่ละปีต้องปลูกอ้อยใหม่ในช่วง กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม ประมาณ 20 % ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งหมด



รูปที่ 2.3 Meteo stations in the MEKLONG PROJECT AREA and their representative areas.

ตารางที่ 2.3 Average monthly potential evapotranspiration data (mm./month)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
KANCHANABURI	137	161	198	193	153	124	125	122	111	113	119	131
U-THONG	148	170	223	232	209	177	177	165	142	143	143	143
KAMPHAENG SAEN	137	161	207	208	183	151	156	143	134	141	134	136
HUA HIN	156	169	202	208	181	156	153	150	140	142	147	156

ตารางที่ 2.4 Monthly crop coefficients for HYV-rice

Months after transplanting	1	2	3	4
Dry Season	1.1	1.1	1.25	1.0
Wet Season	1.1	1.1	1.05	0.95

ตารางที่ 2.5 Monthly crop coefficients for sugarcane

Month	Plant cane	Ratoon cane
1	0.4	0.6
2	0.6	0.8
3	1.0	1.0
4	1.1	1.1
5	1.2	1.2
6	1.2	1.2
7	1.2	1.2
8	1.2	1.2
9	1.2	1.2
10	1.2	1.2
11	0.8	0.8
12	0.6	0.6

(6) ปฏิทินการปลูกพืช

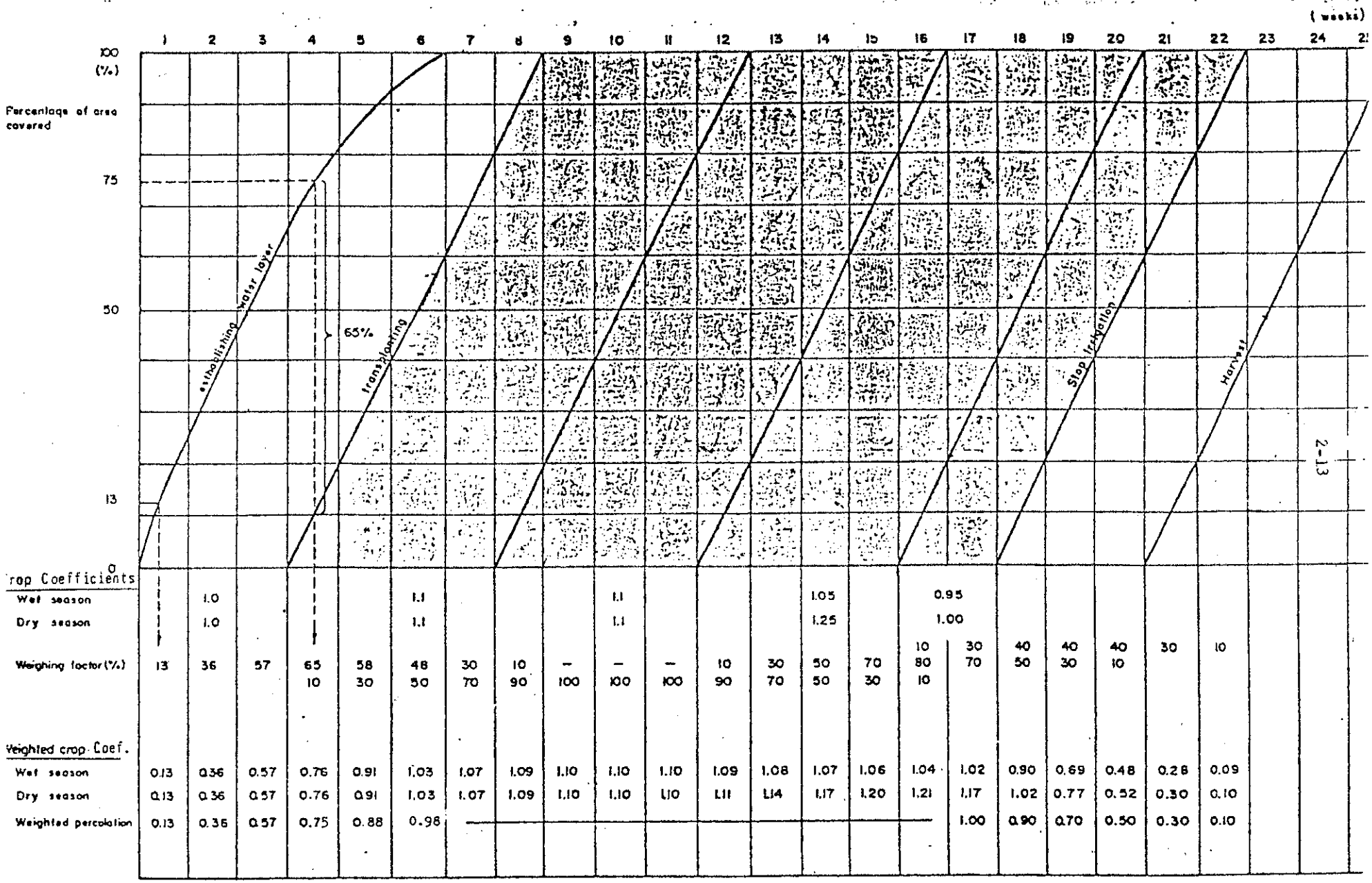
โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ได้กำหนดปฏิทินการปลูกพืชไว้แน่นอน เพื่อเป็นบรรทัดฐานในการจัดส่งน้ำทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ปฏิทินการปลูกข้าวและอ้อยแสดงอยู่ในรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ

(7) ตัวอย่างการคำนวณความต้องการน้ำของพืช

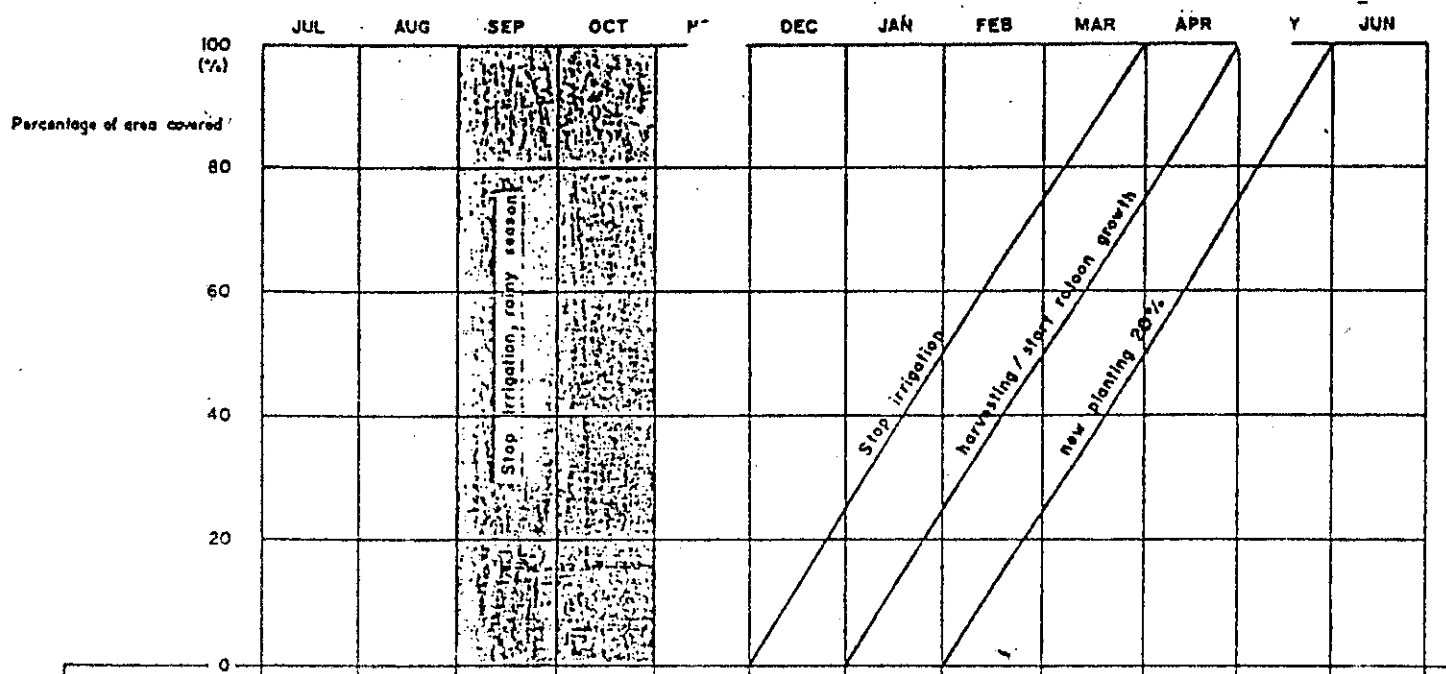
จากข้อมูลที่กล่าวถึงในข้างข้อ (1) - (6) สามารถคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของข้าว อ้อย และพืชอื่น ๆ ที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรีได้ดังแสดงในตารางที่ 2.6, 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ

2.5.2 ข้อมูลฝนในอดีต

การคำนวณความต้องการน้ำชลประทานของช่วงคลอง (Canal Sections) ต่าง ๆ จะมีความถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการคาดคะเนปริมาณฝนล่วงหน้า (Expected Rainfall)



รูปที่ 2.4 Crop calendar of rice



Crop Coefficients	JUL	AUG	SEP	OCT		DEC	JAN	FEB	MAR	APR		JUN		
	1.2	1.2			1.2	0.8	X	0.4	0.6	1.0	1.1	1.2	5%	PLANT CANE
	1.2	1.2			1.2	1.2	0.8	X	0.4	0.6	1.0	1.1	5%	Total : 20 % of the area
	1.1	1.2			1.2	1.2	1.2	0.8	X	0.4	0.6	1.0	5%	Growth period : 12 months.
	1.0	1.1			1.2	1.2	1.2	1.2	0.8	X	0.4	0.6	5%	
	1.2	1.2			1.2	0.8	X	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	20%	RATOON CANE (1°, 2°, 3°)
	1.2	1.2			1.2	1.2	0.8	X	0.6	0.8	1.0	1.1	20%	Total : 60 % of the area
	1.1	1.2			1.2	1.2	1.2	0.8	X	0.6	0.8	1.0	20%	Growth period : 12 months
	1.2	1.2			0.8	X	XX	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	5%	RATOON CANE (4°)
	1.2	1.2			1.2	0.8	X	XX	0.6	0.8	1.0	1.1	5%	Total : 20 % of the area
	1.1	1.2			1.2	1.2	0.8	X	XX	0.6	0.8	1.0	5%	Growth period : 11 months
	1.0	1.1			1.2	1.2	1.2	0.8	X	XX	0.6	0.8	5%	
Weighted	1.15	1.19			1.18	1.02	0.66	0.47	0.44	0.70	0.91	1.06		
Land preparation water requirement : 50 mm. at 20 % of the area :							2.5	2.5	2.5	2.5	(mm.)			

NOTE:

X : no irrigation : harvest (1 month)

XX : no irrigation : land preparation. (1 month)

รูปที่ 2.5 Crop calendar of sugarcane

ตารางที่ 2.6 (a) Calculation of the weekly water requirement of rice in the dry season.

	←15 January																15 June→					
Week number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ETo in mm/week for Kanchanaburi	31	31	40	40	40	40	45	45	45	45	45	45	45	45	45	35	35	35	35	35	29	29
Land preparation in mm/week	63	55	47	38	30	17																
Weighted crop Coef. (K_c) (reference figure 4)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.91	1.03	1.07	1.09	1.10	1.10	1.10	1.11	1.14	1.17	1.20	1.21	1.17	1.02	0.77	0.52	0.30	0.10
Consumptive use (K_c ET$_o$) in mm/week	4	11	23	30	36	41	48	49	50	50	50	50	51	53	54	42	41	36	27	18	9	3
Percolation factor (P) (reference figure 4)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.88	0.98	1.0	←								→	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
Percolation (7 mm/week)	1	3	4	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	4	2	1
TOTAL in mm/week	68	68	74	73	72	65	55	56	57	57	57	57	58	60	61	49	48	42	32	22	11	4

ตารางที่ 2.6(b) : Calculation of the weekly water requirement of rice in the wet season.

	← 15 July															15 December →						
Week number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
ETo in mm/week for Kanchanaburi	28	28	28	28	28	28	28	26	26	26	26	26	26	26	26	26	28	28	28	28	30	30
Land preparation in mm/week	63	55	47	38	30	17																
Weighted crop Coef.(K_c) (reference figure 4)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.91	1.03	1.07	1.09	1.10	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.04	1.02	0.90	0.69	0.48	0.28	0.09
Consumptive use (K_c ET_o) in mm/week	4	10	16	21	25	29	30	28	29	29	29	28	28	28	28	27	29	25	29	13	8	3
Percolation factor (P) (reference figure 4)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.88	0.98	1.0	←								→	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
Percolation (3.5 mm/week)	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	1	0
TOTAL in mm/week	68	67	65	62	58	50	34	32	33	33	33	32	32	32	32	31	33	28	21	15	9	3

ตารางที่ 2.7 Calculation of the monthly water requirement of sugarcane

Month	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG
ET_o (mm/month) for Kanchanaburi	119	131	137	161	198	193	153	124	125	122
Weighted crop coef. (K_c) (reference figure 5)	1.18	1.02	0.66	0.47	0.44	0.70	0.91	1.06	1.15	1.19
Consumptive use (ET_o K_c) in mm/month	140	134	90	76	87	135	139	131	144	145
Water requirement for Land preparation in mm. (reference figure 5)	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-
Total	140	134	93	79	90	138	139	131	144	145

ตารางที่ 2.8 : Calculation of the water requirement of 'other crop'

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ET_o (mm/month) in Kanchanaburi	137	161	198	193	153	124	125	122	111	113	119	131
Crop coefficient (K_c)	0.8 <----------											0.8
Consumptive use (ET_o K_c) in mm/month	110	129	158	154	122	99	100	98	89	90	95	105

ในโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่มีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนจำนวน 16 สถานี กระจายครอบคลุมทั่วพื้นที่โครงการ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 แต่ละสถานีมีสถิติฝนรายวันยาวนานกว่า 30 ปี

ได้มีการวิเคราะห์หา Expected Rainfall โดยการวิเคราะห์ความถี่ฝน (Rainfall Probability Analysis) แล้วทำการจำลองระดับน้ำในแปลงนาตามหลักของการจัดสรรน้ำใน WASAM เพื่อเลือกระดับความถี่หรือ Probability สำหรับการเลือกค่า Expected Rainfall ในเดือนต่าง ๆ ของแต่ละสถานี

การเลือกระดับความถี่ฝนในรอบครึ่งเดือนได้ใช้เกณฑ์ดังต่อไปนี้คือ

1. แปลงนาจะมีวันขาดน้ำไม่เกิน 5 วัน
2. มีการใช้ฝนให้เกิดประโยชน์สูงสุดและใช้น้ำชลประทานน้อยที่สุด

ผลการจำลองได้ระดับความถี่ฝนดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 Selected Rainfall Probability Levels (1)

Station	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
ปากท่อ	70	30	30	40	40	40	50	70
ท่าม่วง	60	30	50	40	70	30	40	60
อู่ทอง	50	30	20	40	70	30	30	80

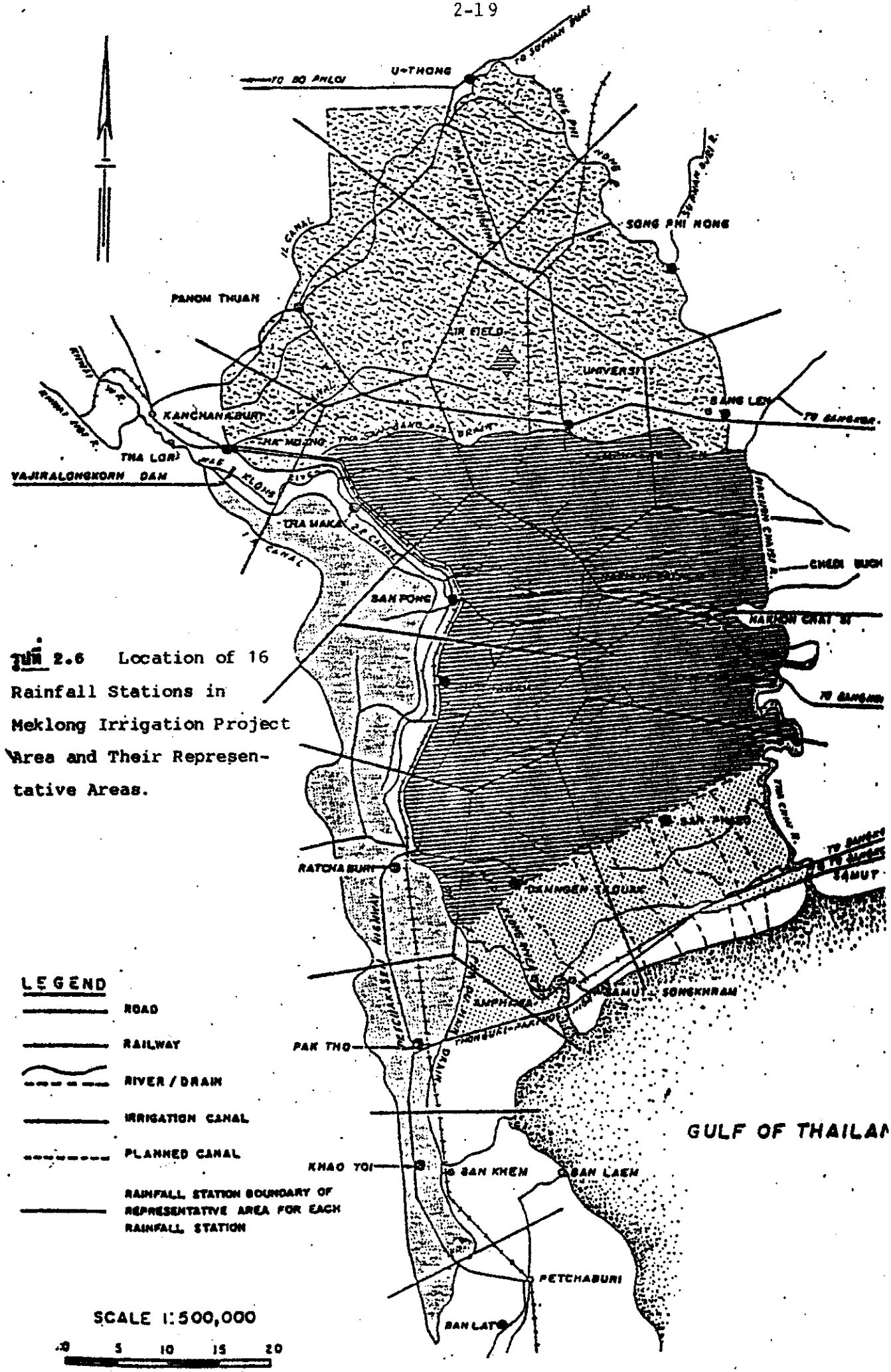
ส่วนสถานีอื่น ๆ อีก 13 สถานีจะเลือกใช้ระดับความถี่ฝนตาม 3 สถานีที่ทำการวิเคราะห์ไว้ดังนี้

กลุ่มปากท่อ ได้แก่ บ้านลาด เขาย้อย สถานีวิจัยข้าวราชบุรี ดำเนินสะดวก บ้านแพ คลองตะคด ปตร. เจดีย์บูชา

กลุ่มท่าม่วง ได้แก่ บ้านพอง ท่ามะกา กำแพงแสน บางเลน

กลุ่มอู่ทอง ได้แก่ พนมทวน ปตร. สองพี่น้อง

แนะนำว่าควรมีการวิเคราะห์ข้อมูลฝนใหม่ทุก 5 ปี



รูปที่ 2.6 Location of 16 Rainfall Stations in Meklong Irrigation Project Area and Their Representative Areas.

2.5.3 ลักษณะระบบชลประทาน

(Irrigation System Specifications)

ในการคำนวณปริมาณน้ำ (Q) ที่ต้องส่งให้ ปตร. ต่าง ๆ ตามความต้องการน้ำของช่วงคลองต่าง ๆ WASAM ต้องรู้ข้อมูลระบบชลประทานเพื่อให้แน่ใจว่า Q ที่คำนวณได้สามารถส่งไปถึงพื้นที่เพาะปลูกที่ต้องการได้ ตามสภาพทางชลศาสตร์ของระบบคลองส่งน้ำในโครงการ ข้อมูลลักษณะระบบชลประทานที่ WASAM ต้องการได้แก่

Location แสดง กม.ต้นและปลายช่วงคลอง

Number and Father โดยกำหนดว่า

แต่ละช่วงคลองจะต้องมีหมายเลข (Number) ของตัวเองซึ่งไม่ซ้ำกันและจะต้องบอกว่าช่วงคลองหมายเลขนั้น ๆ ได้รับน้ำจาก Father เบอร์อะไร ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เช่น ช่วงคลองที่ 2 รับน้ำจากช่วงคลองที่ 1 หรือช่วงคลองที่ 3 รับน้ำจากช่วงคลองที่ 2 เป็นต้น Father No. จะมีเครื่องหมาย + หรือ -

+ หมายความว่าต้องการให้ Q ที่ช่วงคลองซึ่งเป็น Father มีค่าอย่างน้อยเท่ากับ Minimum Supply Level เช่น 3(2)

- หมายความว่าไม่จำเป็นที่ Q ในช่วงคลองที่เป็น Father ต้องมีค่าอย่างน้อยเท่ากับ Minimum Supply Level เช่น 2(-1) หรือ 4(-2)

Maximum and Minimum Capacity (Qmax, Qmin)

สำหรับโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ กำหนดให้

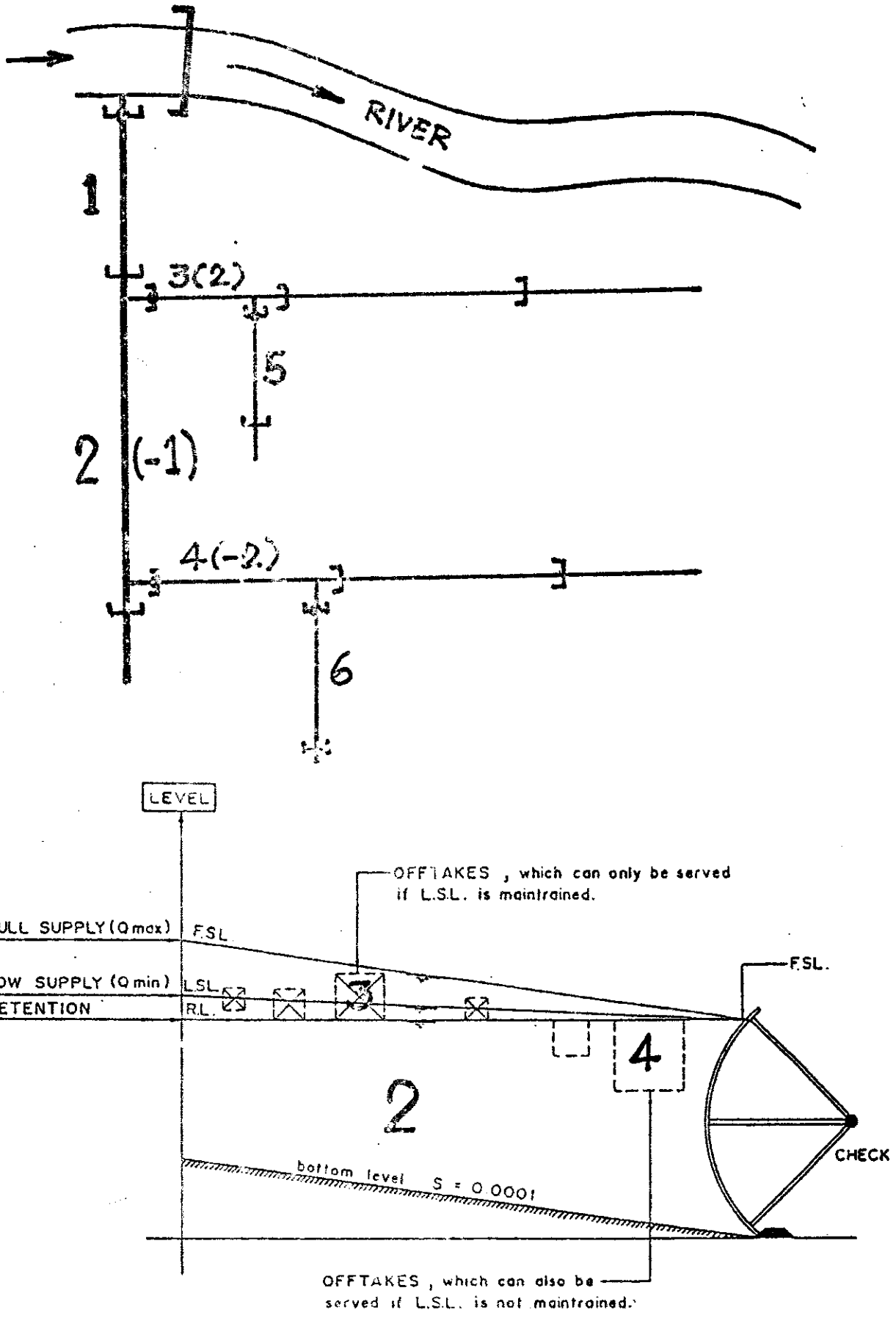
ความจุสูงสุดQmax มีค่าเท่ากับความจุออกแบบ (FSL) และกำหนดให้ความจุต่ำสุด (LSL) คิดเป็น % ของ Qmax ดังนี้

LSL ของคลองสายใหญ่ = 40 % Qmax.

LSL ของคลองซอย = 60 % Qmax.

Conveyance Losses (Eff)

คิดเป็น % ของ Qmax ต่อกิโลเมตรตามลักษณะคลองดังนี้ .-



รูปที่ 2.7 การกำหนด Canal Section No. และ Father No.

Lined Main Canal = 0.1 % ของ Qmax/km.

Unlined Main Canal = 0.2 % ของ Qmax/km.

Lined Lateral = 0.25 % ของ Qmax/km.

- Evapotranspiration Area (Ev)

มีการแบ่งพื้นที่ ETo ออกเป็น 4 พื้นที่ ตามสถานีอุตุนิยมวิทยา 4 สถานีดังรูปที่ 2.3 โดยกำหนดว่าแต่ละช่วงคลองอยู่ภายใต้สถานีอุตุนิยมวิทยาเพียงสถานีเดียว

- Rainfall Station Area (Er)

มีการแบ่งพื้นที่ฝนออกเป็น 16 พื้นที่ ตามสถานีวัดน้ำฝน 16 สถานีดังรูปที่ 2.6 โดยกำหนดว่าแต่ละช่วงคลองอยู่ภายใต้สถานีวัดน้ำฝนเพียงสถานีเดียวเช่นเดียวกับ ET_o

- Organization Code (ZoWP)

เพื่อใช้ในการพิมพ์รายงานการจัดสรรน้ำ โดยกำหนดหมายเลข 4 ตัว เช่น 1852 ซึ่งหมายความว่าโซน 18 ตอน 5 โครงการ 2 (หรือโครงการท่ามะกา)

- Comand Area (CA)

พื้นที่ชลประทานที่รับน้ำจากช่วงคลองนั้น ๆ

ตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลลักษณะระบบชลประทานแสดงอยู่ในรูปที่ 2.8

2.5.4 ข้อมูลแสดงลักษณะระบบไร่นา

(Tertiary Unit Specifications)

โครงการแม่กลองใหญ่ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในระดับคูน้ำ โดยใช้ตารางการส่งน้ำแบบหมุนเวียนแน่นอนตายตัว (Fixed Rotation Schedule) ในการคำนวณปริมาณน้ำที่ส่งให้คูน้ำต่าง ๆ จะต้องรู้ข้อมูลของระบบไร่นา หรือข้อมูลของคูน้ำของแต่ละช่วงคลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.9

2.6 ข้อมูลรายสัปดาห์

(Variable Data)

2.6.1 ช่วงสัปดาห์สำหรับการรายงานข้อมูล (Time Frame)

WASAM กำหนดว่าสัปดาห์ของการส่งน้ำชลประทานเริ่มวันพฤหัสบดี แต่ช่วงสัปดาห์สำหรับการรายงานข้อมูลประจำสัปดาห์และเริ่มการคำนวณเริ่มวันอังคาร ดังรูปที่ 2.10

ตัวอย่าง : CANAL SYSTEM DATA DATE: 08-09-1988

FOR IRRIGATION SYSTEM : MEKLONG LOWER LEFT BANK DRY SEASON: 1988

Name	Begin	End	Nr	Fat	QMax	QMin	Eff.	ZoWP	Ev	Er	CA
LM	0.000	15.150	1	0	129.000	0.000	.0010	111	3	2	1473
TSBP	0.000	65.000	2	-1	50.000	0.000	.0000	111	3	1	0
3L	0.040	6.800	4	1	0.670	0.000	.0025	111	3	1	2525
4L	0.040	3.100	6	-1	3.570	0.000	.0025	211	3	1	1240
1L-4L	0.010	4.400	7	-6	2.020	0.000	.0025	211	3	1	2271
4L	3.100	11.500	8	-6	1.190	0.000	.0025	311	3	1	2292
1L-4L	4.400	11.530	9	-7	1.500	0.000	.0025	411	3	1	3945
1R-1L-4L	0.010	3.500	10	-9	0.330	0.000	.0025	411	3	1	1890
1L-5L	1.700	14.000	11	-16	2.010	0.000	.0025	511	3	7	2585
2R-1L-5L	0.020	2.200	12	11	0.440	0.000	.0025	511	3	7	927
1L-1R-1L-5L	0.020	3.000	14	13	0.310	0.000	.0025	611	3	7	1120
2L-1R-1L-5L	0.020	3.620	15	13	0.320	0.000	.0025	611	3	7	1487
1L-5L	0.200	1.700	16	-104	22.600	0.000	.0010	711	3	7	115
1R-1L-5L	2.240	5.240	17	16	20.210	0.000	.0010	711	3	7	498
1R-1R-1L-5L	0.020	6.920	18	17	1.620	0.000	.0025	811	3	7	847
1R-1L-5L	5.240	11.710	13	-17	18.630	0.000	.0010	611	3	7	2175
1L-1R-1R-1L-5L	0.010	6.500	19	18	0.530	0.000	.0025	811	3	7	1121
2L-1R-1R-1L-5L	0.100	4.500	20	18	0.330	0.000	.0025	811	3	7	882
1R-1L-5L	11.710	18.690	21	-13	17.920	0.000	.0010	921	3	7	3066
3L-1R-1L-5L	0.000	5.560	22	21	0.530	0.000	.0025	921	3	7	3689
4L-1R-1L-5L	0.000	4.620	23	21	0.650	0.000	.0025	921	3	7	3520
5L	0.000	11.710	104	-1	73.000	0.000	.0010	312	3	2	11475
LM	15.930	21.660	100	-1	48.900	0.000	.0010	112	3	1	4410
1R-5L	0.000	15.400	101	104	2.200	0.000	.0025	212	3	1	12290

Name = ชื่อของช่วงคลอง (Canal Section)

Begin = กม. เริ่มต้นของช่วงคลอง

End = กม.สุดท้ายของช่วงคลอง

Nr = หมายเลขรหัสของช่วงคลอง (ใช้ในโปรแกรม)

Fat = หมายเลขรหัสของช่วงคลองที่ส่งน้ำให้ช่วงคลองนี้
(มีเครื่องหมายลบแสดงว่า สามารถส่งน้ำให้คลองซอย
ได้ถึงแม้ระดับน้ำจะอยู่ที่ LSL.)

Qmax = ปริมาณน้ำสูงสุด

Qmin = ปริมาณน้ำต่ำสุด (ที่ยังสามารถส่งน้ำเข้าคลองซอยได้)

Eff = ค่าประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ (คิดเป็นเปอร์เซ็นต่อกม.)

ZoWP = หมายเลข โซน ตอน และ โครงการ เรียงต่อกัน

Ev = หมายเลขรหัส ใช้แทนสถานีวัดค่า ETo ที่ครอบคลุมพื้นที่ของช่วงคลองนี้

Er = หมายเลขรหัส ใช้แทนสถานีวัดน้ำฝน ที่ครอบคลุมพื้นที่ของช่วงคลองนี้

CA = พื้นที่ส่งน้ำทั้งหมดของช่วงคลองนี้

รูปที่ 2.8 ตัวอย่าง Cannal System Data

ตัวอย่าง: DITCH CHARACTERISTICS DATE: 03-06-1989

FOR IRRIGATION SYSTEM: MEKLONG RIGHT BANK DRY SEASON: 1988
PROJECT : THA MAKA
WATER MASTER SECTOR : 3

CROPCODES:
1=Paddy dry 2=Paddy wet
3=Sugarc 4=Other c
5= fallow

ZONE nr: 1 :CANAL SECTION: 1L-1R KM 0.000 - 7.000

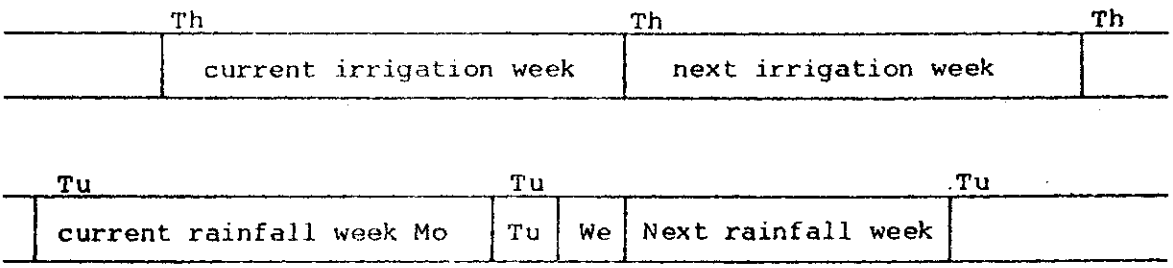
Dit.no.	CAP	AREA	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
1	60	200	3	3	4	3	4	3	3
3	60	176	1	1	1	1	1	2	1
5	60	162	1	1	1	1	1	1	1
7	60	225	1	1	1	1	1	1	1
9	60	192	1	1	1	1	1	3	1
11	60	210	1	1	1	1	1	1	1
13	60	212	1	1	1	1	1	1	1
15	60	183	1	1	1	1	1	1	1
17	60	209	1	1	1	1	1	1	1
19	60	225	1	1	1	1	1	1	1
21	60	247	1	1	1	1	1	1	1
23	90	337	1	1	1	1	1	1	1
24	120	483	1	1	1	1	1	1	1
25	120	481	1	1	1	1	1	1	1
26	120	417	1	1	1	1	1	1	1

TOTAL AREA DITCHES: 3959 CANAL COMMAND AREA: 4685

หมายเหตุ:

พื้นที่ของ "TOTAL AREA DITCHES" น้อยกว่า "CANAL COMMAND AREA" แสดงว่าทำการเพาะปลูกไม่เต็มพื้นที่

รูปที่ 2.9 ตัวอย่าง Ditch Characteristics



Mo = Monday : field wetness data collection and transmission

Tu = Tuesday : - rainfall data collection and transmission
- water allocation calculation process

We = Wednesday : report distribution to O & M staffs

Th = Thursday : start irrigation week.

Figure 2.10: Time frame of the weekly water allocation process in the Meklong Irrigation Projects.

2.6.2 ฝนที่ตกจริงในสัปดาห์

ในวันอังคารฝนที่ตกจริงในสัปดาห์ที่ผ่านมาจะถูกป้อนเข้า WASAM เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับฝนคาดการณ์ และใช้ในการปรับแก้ค่าปริมาณความต้องการน้ำชลประทานที่คำนวณได้

2.6.3 การรายงานสภาพน้ำในแปลงนา (Field Wetness)

ทุกวันจันทร์สภาพน้ำในแปลงนาจะถูกป้อนเข้า WASAM เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน เช่นเดียวกับข้อมูลฝนจริงในหัวข้อ 2.6.2 การรายงานสภาพน้ำในแปลงนาจะแบ่งออกเป็น 5 ระดับคือ แห้งมาก แห้ง ปกติ เปียก และเปียกมาก ดังตารางที่ 2.2

2.7 ขั้นตอนการคำนวณการจัดสรรน้ำในโปรแกรม WASAM

การคำนวณในโปรแกรม WASAM แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ **ขั้นตอนที่ 1** คำนวณความต้องการน้ำชลประทานของช่วงคลองต่าง ๆ รายสัปดาห์จากรูปแบบการปลูกพืช สภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อการใช้น้ำชลประทาน และประสิทธิภาพในการใช้น้ำชลประทาน และ **ขั้นตอนที่ 2** คือ การคำนวณหาปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้ประตูระบายต่าง ๆ โดยพิจารณาถึงสภาพทางชลศาสตร์ของระบบคลองส่งน้ำ และการสูญเสียน้ำขณะส่งรายละเอียดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโปรแกรมและไฟล์ข้อมูลของโปรแกรม WASAM และ WASAM 2 แสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 2.11 โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

2.7.1 การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทาน

ความต้องการน้ำชลประทานของช่วงคลอง N ในสัปดาห์ที่ w จะหาได้จากสูตร

$$R(N) = \frac{\sum_{I=1}^{NC} [EV(ES)* CF(w1,I) + LP(w1,I) + COR - RE(RS))]* A(I,N)}{378,000 * SUE(w1,I)} \quad ..(2.1)$$

เมื่อ

R(N) = ความต้องการน้ำของช่วงคลอง N ในสัปดาห์ที่ w ใด ๆ ($ม.^3$/วินาที)

EV(ES) = Weekly Potential Evapotranspiration ของสถานี ES (มม.)

CF(w1,I) = Crop Factor ของพืช I ซึ่งมีอายุ w1 สัปดาห์

NC = จำนวนของชนิดพืช ใน WASAM สามารถใช้ได้กับพืชถึง 4 ชนิดคือ 1 = ข้าวนาปรัง, 2 = ข้าวนาปี, 3 = อ้อย, 4 = พืชไร่, และ WASAM 2 สามารถเพิ่มพืชอีก 2 ชนิด คือ 5 = ไม้ยืนต้น 6 = บ่อเลี้ยงปลา

LP(w1,I) = Weekly Land Preparation + Percolation ของพืช I ซึ่งมีอายุ w1 สัปดาห์ (มม.)

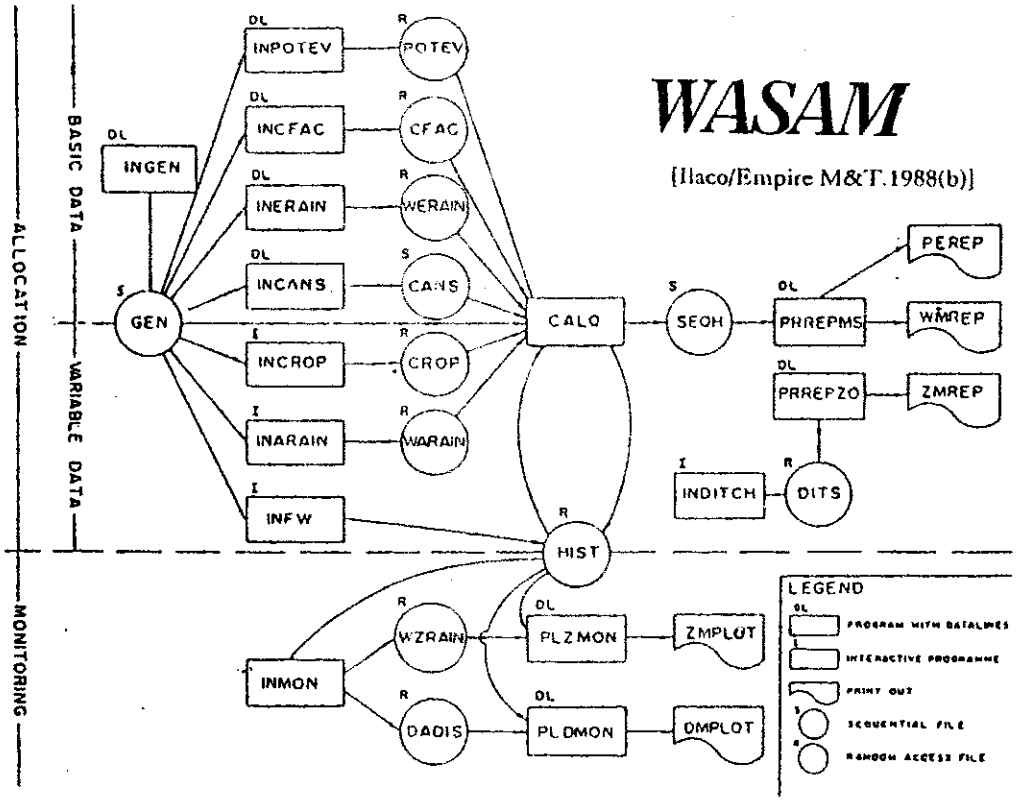
COR = ค่าปรับแก้ (Correction)

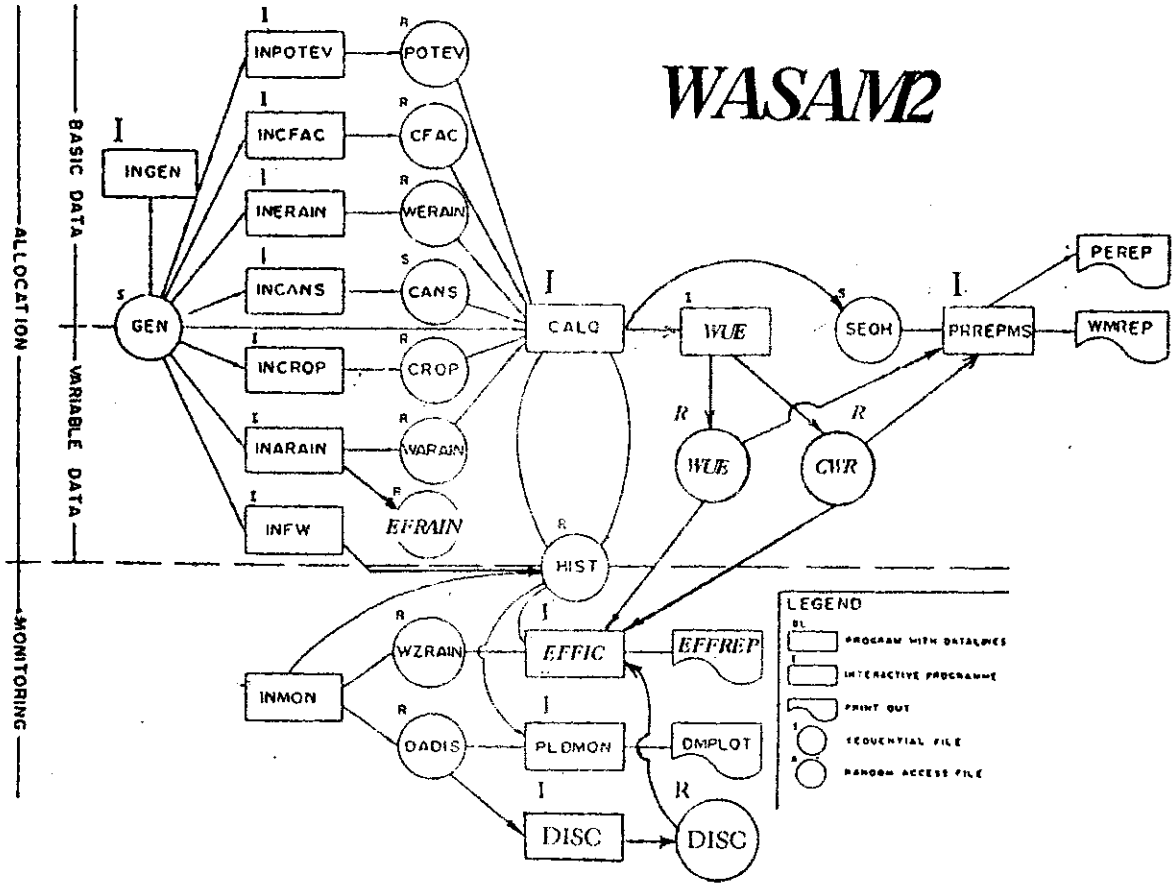
RE(RS) = ฝนคาดการณ์ (Expected Rainfall) ของสถานี RS (มม.)

A(I,N) = พื้นที่เพาะปลูกพืช I ในช่วงคลอง N (ไร่)

SUE(w1,I) = ประสิทธิภาพการใช้น้ำในระดับแปลงนาของพืช I ซึ่งมีอายุ w1

กรณีที่มีการรายงานว่าฝนที่ตกจริงมากกว่าหรือน้อยกว่าฝนคาดการณ์ หรือมีการรายงานว่าสภาพน้ำในแปลงมากหรือน้อยเกินไป ค่า COR ในสมการที่ 1 จะมีค่ามากกว่า 0 การหาค่า COR ทำได้ดังนี้





รูปที่ 2.11 เปรียบเทียบโครงสร้างโปรแกรม WASAM และ WASAMVERSION 2 (วราวุธ และวัชระ. 2538)

(1) <u>การหาค่าปรับแก้จากข้อมูลฝนในสัปดาห์ใด ๆ</u>

ถ้า RACW (RS) $\neq$ RE (RS)

ให้ DR = RE (RS) - RACW (RS) ..... (2.2)

เมื่อ RACW (RS) คือ ฝนที่ตกจริงที่สถานี RS ในสัปดาห์ที่ w

เป็น มม./สัปดาห์

DR = ค่า Correction เนื่องจากฝน (มม./สัปดาห์)

(2) <u>การหาค่าปรับแก้เนื่องจากสภาพน้ำในแปลงนา</u> (Field Wetness)

สภาพน้ำในแปลงนาหมายถึงระดับน้ำในแปลงนา แต่ละช่วงคลองจะมีจุดตรวจวัดความลึกของน้ำในแปลงนา ถ้าระดับน้ำอยู่ระหว่าง 6-10 ซม. หมายถึงสภาพปกติ ถ้าน้อยกว่า 6 ซม. หมายความว่าแห้ง ถ้ามากกว่า 10 ซม. หมายความว่าสภาพเปียก โดยดูจากเกณฑ์ในตารางที่ 2.2

ถ้าสภาพน้ำในแปลงนาแสดงว่าเปียกหรือแห้ง จะอ่านค่าปรับแก้ DS(FW) ได้จากตารางที่ 2.2

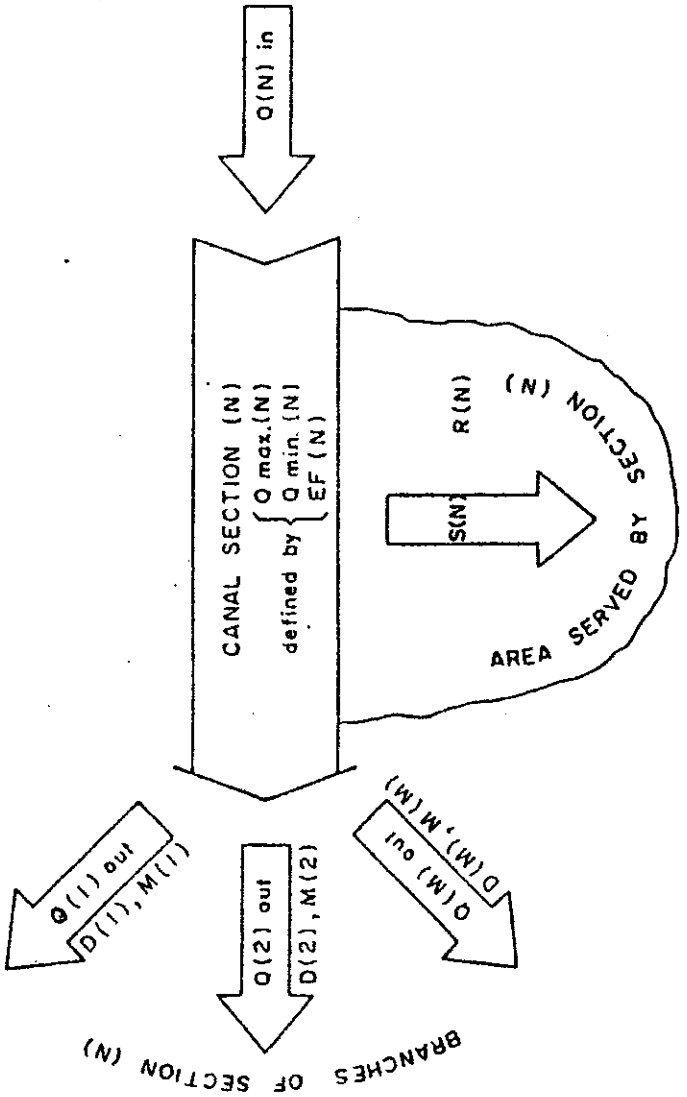
COR = MAX [DR, DS(FW)] ..... (2.3)

2.7.2 <u>การคำนวณปริมาณน้ำ (Q) ที่ส่งให้ช่วงคลองต่าง ๆ</u>

การคำนวณ Q ที่ส่งให้ช่วงคลองที่ N จะคำนวณจากปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้ช่วงคลอง N (ตามความต้องการน้ำชลประทานของช่วงคลอง N) บวกผลรวมของ Q ที่ต้องส่งให้ช่วงคลอง 1 ถึง M ที่อยู่ท้ายน้ำของช่วงคลอง N บวกการสูญเสียน้ำจากแหล่งน้ำถึงช่วงคลองที่ N ดังรูปที่ 2.12 หรือ

$$Q(N) = S(N) + \sum_{I=1}^{M} Q(I) + LOSS(N) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4)$$

เมื่อ Q(N) = ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ ปตร. ของช่วงคลอง N



$$Q(N) = S(N) + \sum_{I=1}^{M} Q(I) + LOSS(N)$$

Discharges (m^3/sec)

Q(N)	: incoming to in section (N)	D(I)..... D(M)	: special counter for shortage or excess distribution in the branches of (N)
Q max (N)	: maximum capacity		
Q min (N)	: minimum capacity	M(I).....M(M)	: characteristic related to the required supply levels in the branches of (N)
Q(I).....Q(M)	: outgoing to branches of (N)		
S(N)	: irrigation supply	LOSS (N)	: conveyance loss (N)
R(N)	: irrigation requirement		

รูปที่ 2.12 การคำนวณ Q ที่ส่งให้ ปตร.ของช่วงคลอง N

(Ilaco/Empire M&T. 1988(a))

S(N) = ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้พื้นที่รับน้ำของช่วงคลอง N

Q(I) = ปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากช่วงคลอง N ให้คลอง 1 ถึง M ที่รับน้ำต่อจากช่วงคลอง N

LOSS(N) = การสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำจากแหล่งน้ำถึงช่วงคลอง N

หลังจากคำนวณ Q(N) ได้แล้วโปรแกรม WASAM จะตรวจสอบค่า Q(N) และปรับค่าตามเกณฑ์การส่งน้ำ ดังนี้ (Vudhivanich. 1988)

(1) <u>กรณี Q(N) < 0.4 Qmin(N)</u>

ถือว่าปริมาณน้ำที่ส่งมีค่าน้อยมาก จึงกำหนดให้

Q(N) = 0

และบันทึกว่ามีความต้องการน้ำหรือ D(N) > 0 แต่ไม่ได้ส่งให้

(2) <u>กรณี 0.4 Qmin(N) < Q(N) < Qmin(N)</u>

ให้ Q(N) = Qmin(N)

ยกเว้นกรณีที่ R(N) = 0 และคลองที่รับน้ำต่อจากช่วงคลอง N ไม่ต้องการให้มีการควบคุมระดับน้ำใน N ให้มากกว่า Qmin หรือเครื่องหมายในตัวแปร M(I) เป็น - ถ้า M(I) มีเครื่องหมายเป็น + จะต้องเพิ่ม Q(N) ให้เท่ากับ Qmin(N) ซึ่งแสดงว่ามีการจัดสรรน้ำเกินกว่าความต้องการ ปริมาณน้ำส่วนเกิน V จะคำนวณหาได้จากสมการ

V = Qmin(N) - Q(N)

กรณีที่มีการจัดสรรน้ำเกินความต้องการ (V>0) จะต้องมีการกระจายน้ำส่วนเกินให้ช่วงคลอง 1-M ท้ายน้ำตามเกณฑ์และลำดับความสำคัญก่อนหลังดังต่อไปนี้

- ช่วงคลองที่ D(I) > 0

  ให้จัดสรรน้ำเพิ่ม = D(I)

- ถ้ายังมีน้ำส่วนเกินเหลือ ให้จัดสรรน้ำให้ช่วงคลอง 1-M เพิ่มเท่ากับ Qmin
- ถ้ายังมีน้ำส่วนเกินเหลืออีก ให้จัดสรรน้ำเพิ่มตามสัดส่วนของน้ำที่ได้จัดสรรไปแล้ว

(3) <u>กรณี Qmin(N) < Q(N) < Qmax(N)</u>

ใช้ค่า Q(N) ที่คำนวณได้โดยไม่ต้องปรับ

(4) กรณี $Q(N) > Qmax(N)$

ให้ $Q(N) = Qmax(N)$

กรณีนี้จะเกิดการขาดน้ำ (P)

$P = Q(N) - Qmax(N)$

ค่า P จะถูกจัดสรรให้ช่วงคลอง 1-M ท้ายน้ำตามสัดส่วน

หลังจากคำนวณค่า Q(N) ของช่วงคลองต่าง ๆ แล้ว WASAM 2 จะพิมพ์ผลการคำนวณออกมาเพื่อให้เจ้าหน้าที่จัดสรรน้ำอาวุโสของโครงการชลประทานตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณค่า Q(N) ถ้าผลเป็นที่ยอมรับได้จะสั่งให้ WASAM 2 จัดพิมพ์รายงานต่อไป

2.8 การคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Use Efficiency)

WASAM 2 ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพการใช้น้ำรายสัปดาห์ของทั้งโครงการและของแต่ละงานส่งน้ำ และรายงานพร้อมกับรายงานผลการจัดสรรน้ำประจำสัปดาห์ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และเมื่อสิ้นสุดฤดูกาลส่งน้ำ WASAM 2 สามารถจัดทำรายงานสรุปประสิทธิภาพการใช้น้ำชลประทานรายสัปดาห์ของแต่ละงานส่งน้ำ และสรุปประสิทธิภาพการใช้น้ำของทั้งฤดูกาลดังแสดงในรูปที่ 2.13 การคำนวณประสิทธิภาพการใช้น้ำในสัปดาห์ใด ๆ ใช้สูตร

$$WUE(L) = \frac{\sum_{I=1}^{J} R'(N)}{Q_{supphy}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.5)$$

เมื่อ $WUE(L)$ = ประสิทธิภาพการใช้น้ำของงานส่งน้ำที่ L (%)

$R'(N)$ = ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิของช่วงคลองที่ N (ม.^{3}/วินาที)

$$= \frac{\sum_{I=1}^{NC} [EV(ES)* CF(w1,I)+LP(w1,I)-ER(RS)]* A(I,N)}{378,000}$$

$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.6)$

J = จำนวนช่วงคลองในงานส่งน้ำที่ L

ER(RS) = ฝนใช้การ (Expected Rainfall) ของสถานี RS (มม.)

$Q_{supphy} = \Sigma Q_{in} - \Sigma Q_{out}$ มีหน่วยเป็น ม.^{3}/วินาที

WEEKLY EFFICIENCY (%) IN WMS

DATE: 09-07-1994

PROJECT NAME: SONG PHI NONG IRRIGATION PROJECT
For DRY season in 1994

Week	WMS 1	WMS 2	WMS 3	WMS 4	WMS 5	Everage
2	0	0	0	10	19	16
3	0	0	0	28	40	36
4	0	0	0	54	56	55
5	0	0	0	69	63	65
6	0	0	0	71	66	67
7	22	30	46	76	53	46
8	41	36	35	66	43	44
9	47	42	32	56	53	48
10	53	42	41	46	52	48
11	14	5	0	21	30	18
12	3	0	0	0	0	1
13	74	63	63	62	55	63
14	66	41	79	64	62	59
15	0	0	36	45	7	11
16	63	44	85	55	65	59
17	68	50	85	53	61	61
18	0	0	13	28	9	8
19	84	91	95	43	48	65
20	51	54	26	28	22	35
21	44	43	37	32	15	31
22	57	56	50	11	17	36
23	56	63	78	11	8	38

CALCULATION OF SEASON EFFICIENCY

DATE: 09-07-1994

PROJECT NAME: SONG PHI NONG IRRIGATION PROJECT
For DRY season in 1994

WMS	IWR	Actual Q	WUE
	m3/s		%
1	76.24	176.00	43.32
2	56.21	158.30	35.51
3	31.43	70.40	44.64
4	65.13	150.20	43.36
5	118.87	318.70	37.30

EFFICIENCY OF PROJECT = 39.82 %

รูปที่ 2.13 ประสิทธิภาพการใช้น้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องฤดูแล้ง พ.ศ. 2537

2.9 การจัดทำรายงานการจัดสรรน้ำ

WASAM จะจัดทำรายงานการจัดสรรน้ำ 3 ระดับ คือ

(1) รายงานสำหรับนายช่างหัวหน้าโครงการ (Project Engineer Report) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.14

(2) รายงานสำหรับหัวหน้างานส่งน้ำ(Water Master Report) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.15

(3) รายงานสำหรับพนักงานส่งน้ำ (Zoneman Report) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.16 และรายงานการกระจายน้ำในแปลงนา (คูน้ำ) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.17

2.10 การกระจายน้ำในระดับแปลงนา

(Water Distribution Over Tertiary Units)

ถ้ามีการป้อนข้อมูลรายละเอียดระบบแปลงนาให้ WASAM WASAM จะสามารถคำนวณหา ที่ต้องส่งให้แต่ละคูน้ำในแต่ละวันได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.17

2.11 การติดตามประเมินผลการส่งน้ำ

(Monitoring Process)

การติดตามประเมินผลการส่งน้ำได้แก่การตรวจวัดปริมาณน้ำที่ส่งให้ บตร.ที่สำคัญเป็นประจำวัน และการวัดปริมาณฝนที่ตกลงมาจริงโดยพนักงานส่งน้ำจะเป็นผู้ตรวจวัดและรายงานตามแบบฟอร์มที่อยู่ด้านล่างของรายงานการจัดสรรน้ำสำหรับพนักงานส่งน้ำ WASAM จะทำการพล็อตเปรียบเทียบระหว่างฝนจริงและฝนคาดการณ์ และระหว่างปริมาณน้ำที่ส่งจริงกับปริมาณน้ำที่แนะนำ [Q(N)] แผนภูมิการติดตามประเมินผลแสดงอยู่ในรูปที่ 2.18

ผลการพล็อตเปรียบเทียบจะแสดงในรูปของ Main System Monitoring Report ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และ Zone Monitoring Report ดังแสดงในรูปที่ 2.20

WATER ALLOCATION SCHEDULING

THA MAKA

Project Engineer report

Date : 29 July 1985

Period : 1 Aug. - 7 Aug.

Average discharges in main canals and laterals in m^3/s

Water Master Sectors	Main canal sections			Laterals			
	Name	Km. Station	Discharge Q	Name	Discharge Q	Name	Discharge Q
1	1L-1R	0.000	0.39				
	2R	0.000	14.42	1R-2R	1.18	2R-2R	0.43
	1R	0.200	63.57	3R-2R 1L-1R	0.50 0.25	2L-1R	0.00
				3L-1R	2.10	4L-1R	1.20
				5L-1R	0.72	6L-1R	0.40
2	2R	27.356	10.61	4R-2R	1.01	5R-2R	0.75
				6R-2R	1.02	7R-2R	0.33
				8R-2R	0.64	9R-2R	0.35
	1R	26.000	56.39	7L-1R	2.81	8L-1R	0.70
				9L-1R	2.61	10L-1R	2.18
3	1R	36.100	46.16	11L-1R	1.05	12L-1R	0.73
				13L-1R	0.30	14L-1R	0.62
				15L-1R	0.76		

total discharge into the project area	78.38	m^3/s
total discharge for the project area	38.03	m^3/s
total discharge to the downstream areas	40.35	m^3/s

Remark :

รูปที่ 2.14 Example of Weekly Project Engineering report

WATER ALLOCATION SCHEDULING

THA MAKA

Water master report : Sector 1

Date : 29 July 1985

Period : 1 Aug. - 7 Aug.

Zone	Canal	Km. Station	Dis-charge	Normal require-ment	Effec-tive rainfall	Field wetness report	Actual require-ment	Sup-ply
1	1L-1R	0.000	0.39	0.74	23	very wet	0.32	0.37
2	2R	0.000	14.42	0.57	23	Normal	0.57	0.57
	26(2R)	0.000	0.20	0.14	23	Normal	0.14	0.19
3	2R	7.821	13.51	0.24	28	Very wet	0.00	0.00
	1R-2R	0.000	1.18	0.41	28	Wet	0.25	0.25
4	1R-2R	2.550	0.90	0.60	28	Dry	0.87	0.87
5	2R	12.346	12.19	0.13	28	Normal	0.13	0.13
	2R-2R	0.000	0.43	0.28	28	Normal	0.28	0.41
6	2R	15.338	11.51	0.04	28	Normal	0.00	0.00
	2R-2R-A	0.000	0.00	0.06	28	Normal	0.06	0.00
	2R	20.570	11.39	0.03	28	Normal	0.00	0.00
8	2R	25.180	11.20	0.03	28	Dry	0.06	0.06
	3R-2R	0.000	0.50	0.30	35	Dry	0.46	0.48
21	1R	0.200	63.57	0.17	23	Very Wet	0.06	0.06
	1L-1R	7.000	0.25	0.58	23	Very Wet	0.24	0.24
22	2L-1R	0.000	0.00	0.56	28	Very Wet	0.17	0.00
	1R	12.100	60.52	0.21	28	Very Wet	0.07	0.07
23	3L-1R	0.000	2.10	0.28	28	Dry	0.38	0.38
	1R	17.400	59.65	0.24	28	Dry	0.34	0.34
	33(1R)	0.000	0.20	0.12	28	Normal	0.12	0.19
24	3L-1R	3.400	0.65	0.64	28	Normal	0.64	0.64
25	1R-3L-1R	0.000	1.04	1.03	28	Normal	1.03	1.03
26	4L-1R	0.000	1.20	0.26	28	Very Wet	0.08	0.10
	1R-4L-1R	0.000	0.15	0.25	28	Very Wet	0.08	0.14
	1L-4L-1R	0.000	0.29	0.45	28	Very Wet	0.15	0.29
	2L-4L-1R	0.000	0.29	0.50	28	Very Wet	0.16	0.29
	4L-1R	8.132	0.36	0.61	28	Very Wet	0.20	0.36
29	5L-1R	0.000	0.72	0.69	28	Normal	0.69	0.69
	6L-1R	0.000	0.40	0.49	28	Normal	0.49	0.38

Discharge into this Sector :	78.38	$m^3/s.$
Total discharge for this sector :	11.38	$m^3/s.$
Discharge to downstream sector :	67.00	$m^3/s.$

Remark :

รูปที่ 2.15 Example of Weekly Water Master report

WATER ALLOCATION SCHEDULING

THA MAKA

Zoneman report : Zone number 1

date : 29 July 1985

Period : 1 Aug. - 7 Aug.

. Expected rainfall 23

Canal	Km. Station	Discharge	Normal Requirement	Field Wetness Report	Actual Requirement	Supply
1L-1R	0.000	0.39	0.74	Very Wet	0.32	0.37
Total water supply to this zone :				0.37	$m^3/s.$	

ZONE MONITORING REPORT

	Thu.1	Fri.2	Sat.3	Sun.4	Mon.5	Tue.6	Wed.7
Rainfall							
1L-1R 0.000							

Remark :

รูปที่ 2.16 Example of Weekly Zoneman report

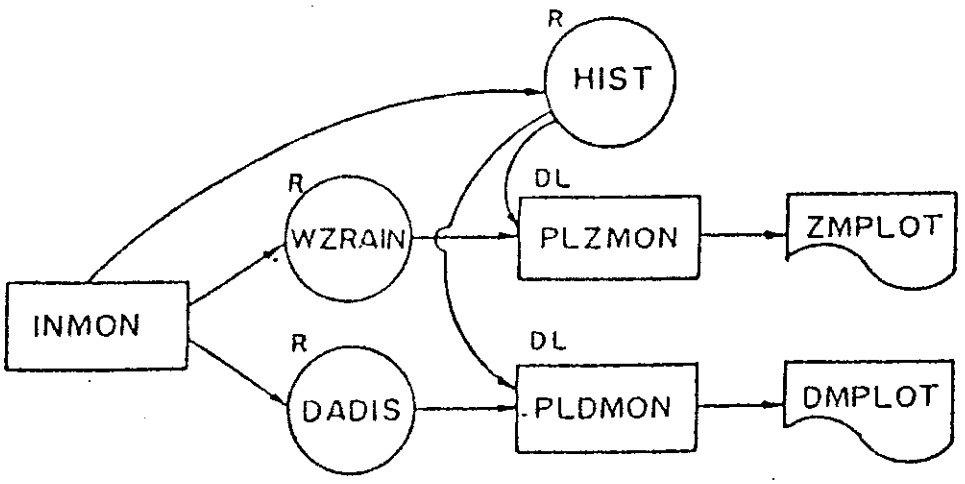
ADVICED AND ACTUAL SUPPLY IN ZONE : 2 IN LATERAL, --- 2R

Ditch	Thur.1	Fr.2	Sat.3	Sun.4	Mon.5	Tue.6	Wed.7
2	30	30	30	30	30	30	30
4	30	30	30	25	25	25	25
6	33	40	40	35	35	35	35
8	50	40	50	50	50	50	50
10	25	30	30	30	30	30	30
12	40	40	40	35	35	35	35
14	35	35	35	30	30	30	30
16	45	45	50	45	45	45	45
18	25	25	25	20	20	20	20
20	30	30	33	30	30	30	30
22	50	45	30	45	45	45	45
24	15	15	15	15	15	15	15
Total							

ADVICED AND ACTUAL SUPPLY IN ZONE : 2 IN LATERAL, 26(2R)

Ditch	Thur.1	Fr.2	Sat.3	Sun.4	Mon.5	Tue.6	Wed.7
2	15	15	15	15	15	15	15
4	35	35	35	35	35	35	35
6	40	40	40	40	40	40	40
8	50	50	50	50	50	50	50
10	50	50	50	50	50	50	50
Total							

รูปที่ 2.17 : Example of report presenting the distribution over the tertiary units along a canal section.



WHERE

INMON = INput MONitoring programme, storing the data in the files: HISTorical(HIST)
Weekly Zone RAIN (WZRAIN)
DAily DIScharges (DADIS).

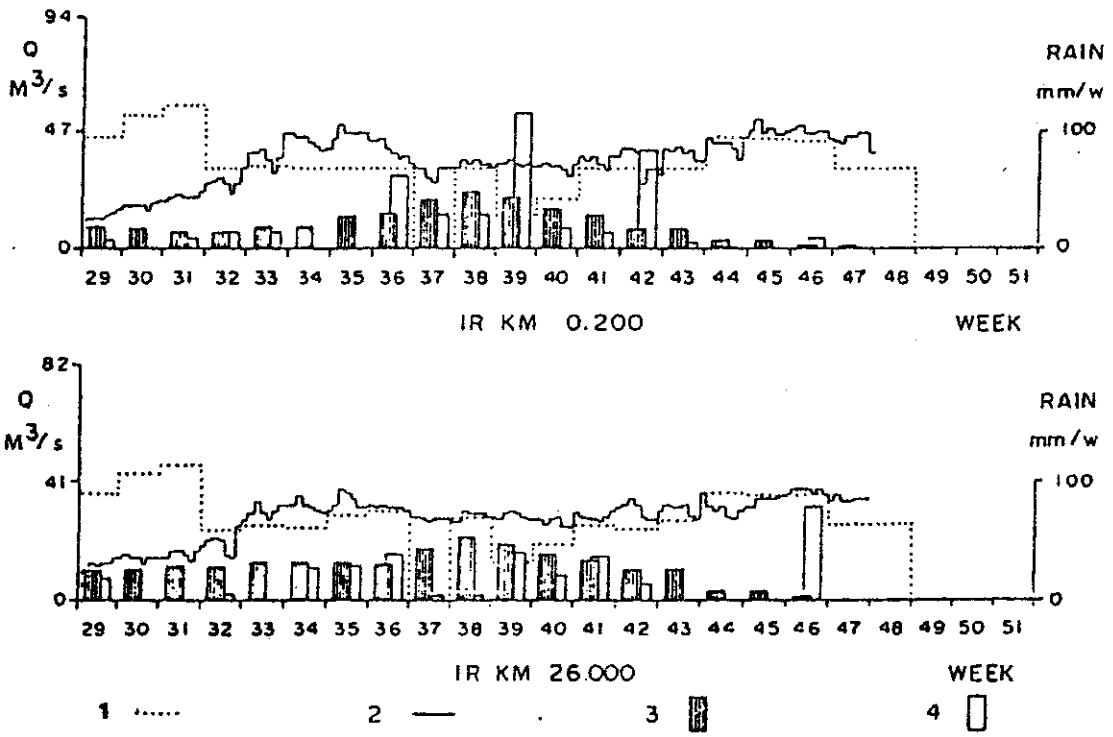
PLZMON = PLotting Zone MONitoring reports resulting in the Zone Monitoring PLOT (ZMPLOT)

PLDMON = PLotting Daily MONitoring reports resulting in the Daily Monitoring PLOT (DMPLOT)

รูปที่ 2.18 Relation Diagram of the Monitoring Process

การแพร่กระจายน้ำ
ท่ามะกา
รายงานระบบสายใหม่
วันที่ 9 กรกฎาคม 2528

WATER DISTRIBUTION MONITORING
THA MAKA
Main System Report
date : 9 JULY 1985



บริมาณน้ำที่แนะนำ (ลบ.ม./วินาที) - 1 - ADVICED DISCHARGE (m^3/s)

บริมาณน้ำที่ใช้จริง (ลบ.ม./วินาที) - 2 - ACTUAL DISCHARGE (m^3/s)

ฝนคาดการ (มม./สัปดาห์) - 3 - EXPECTED RAINFALL (mm/w)

ฝนตกจริง (มม./สัปดาห์) - 4 - ACTUAL RAINFALL (mm/w)

ROYAL IRRIGATION DEPARTMENT — ILACO/EMPIRE M&T

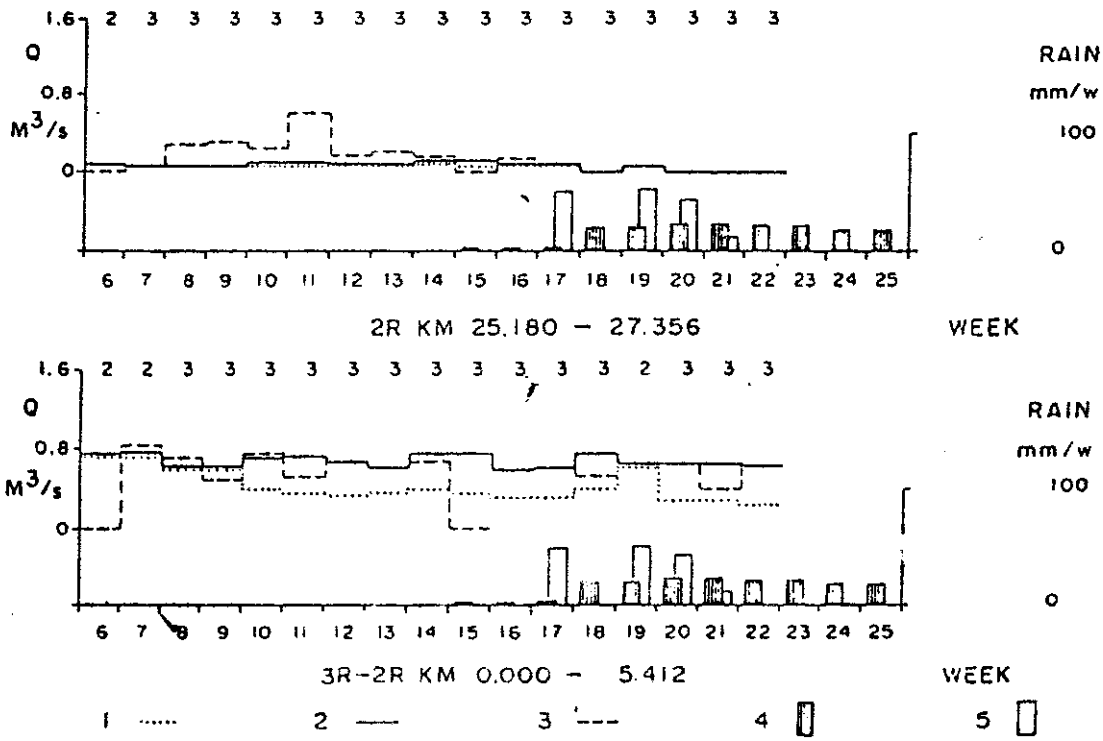
รูปที่ 2.19 Example of a main system monitoring report

การแพร่กระจายน้ำ — WATER DISTRIBUTION MONITORING

ท่ามะกา — THA MAKA

เลขอ พนักงานส่งน้ำ โซนที่ 8 — Zone man report Zone 8

วันที่ 13 มิถุนายน 2528 — date : 13 JUNE 1985



Comment : Non availability of water in week 6 and 15 due to too high offtakes of higher lying zones.

ผลคำนวณความต้องการน้ำ (ลบ.ม./วินาที) – 1 – CALCULATED REQUIREMENT (m^3/s)

ปริมาณน้ำที่แนะนำ (ลบ.ม./วินาที) – 2 – ADVICED SUPPLY (m^3/s)

ปริมาณน้ำที่ใช้จริง (ลบ.ม./วินาที) – 3 – ACTUAL DISCHARGE (m^3/s)

ฝนคาดการ (มม./สัปดาห์) – 4 – EXPECTED RAINFALL (mm/w)

ฝนตกจริง (มม./สัปดาห์) – 5 – ACTUAL RAINFALL (mm/w)

ROYAL IRRIGATION DEPARTMENT — ILACO/EMPIRE M&T

รูปที่ 2.20 Example of a Zone monitoring report

2.12 เงื่อนไข ในการใช้โปรแกรม WASAM

1. อาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ ต้องอยู่ในสภาพดี	GOOD INFRASTRUCTURE
- คลอง	(CANALS)
- ถนน	(ROADS)
- อาคารต่างๆ	(STRUCTURES)
2. กำลังคน	MAN POWER
- ต้องเพียงพอ	(SUFFICIENT)
- มีแรงจูงใจในการปฏิบัติงาน	(MOTIVATED)
- มีการร่วมมือกันในการปฏิบัติงาน	(WELL ORGANISED)
- มีการฝึกอบรม	(WELL TRAINED)
3. ด้านการติดต่อสื่อสาร	COMMUNICATION
- วิทยุหรือโทรศัพท์	(RADIO/TELEPHONE)
- ถนน	(ROADS)
- การนำส่งข้อมูล	(TRANSPORT)
4. ด้านการบำรุงรักษา	MAINTENANCE
- มีการสำรวจ	(SURVEYS)
- มีผู้ปฏิบัติงานทางด้านนี้	(STAFF)
- มีเครื่องมือ-อุปกรณ์ต่างๆ	(EQUIPMENTS)

สุดท้าย :

WASAM สามารถช่วยลดความยุ่งยากของงานจัดสรรน้ำ งานส่งน้ำและบำรุงรักษาของโครงการต่างๆในเขตโครงการแม่กลองใหญ่ ซึ่งมีระบบส่งน้ำเชื่อมโยงและต่อเนื่องระหว่างหลายโครงการได้

****

2.13 ตัวอย่างการเตรียมข้อมูลเพื่อการ Run โปรแกรม WASAM

ตัวอย่างการ Run โปรแกรม WASAM กับโครงการสมมติ คือ DEMON PROJECT ใน KU Irrigation System ซึ่งประกอบด้วย 2 งานส่งน้ำและบำรุงรักษา มีสถานีตรวจวัดข้อมูลภูมิอากาศเพื่อการคำนวณค่า ETo 2 สถานี มีสถานีวัดน้ำฝน 2 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 2.21 จากลักษณะโครงการดังแสดงในรูปที่ 2.21 สามารถเขียน Schematic Diagram แสดงการกระจายน้ำให้ช่วงคลองส่งน้ำต่าง ๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ข้อมูลทั่วไปสำหรับการ Run โปรแกรม WASAM และข้อมูลพื้นที่ส่งน้ำแสดงอยู่ในรูปที่ 2.23 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลทั่วไป ข้อมูลช่วงคลองส่งน้ำ ข้อมูลสำหรับการจัดพิมพ์รายงานระดับต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 2.24

2.14 เอกสารอ้างอิง

1. ภราดา มีอำพล และวราวุธ วุฒิวณิชย์. โปรแกรม WASAM Version 1.1 วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 20 ปีที่ 7. สิงหาคม – พฤศจิกายน 2536.

2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวัชระ. การพัฒนาโปรแกรม WASAM Version 2. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 25 ปีที่ 9. เมษายน – กรกฎาคม 2538.

3. วิทยาลัยการชลประทานและ NEWMASIP คู่มือการใช้โปรแกรม WASAM (Windows Version). กรมชลประทาน. สิงหาคม 2537.

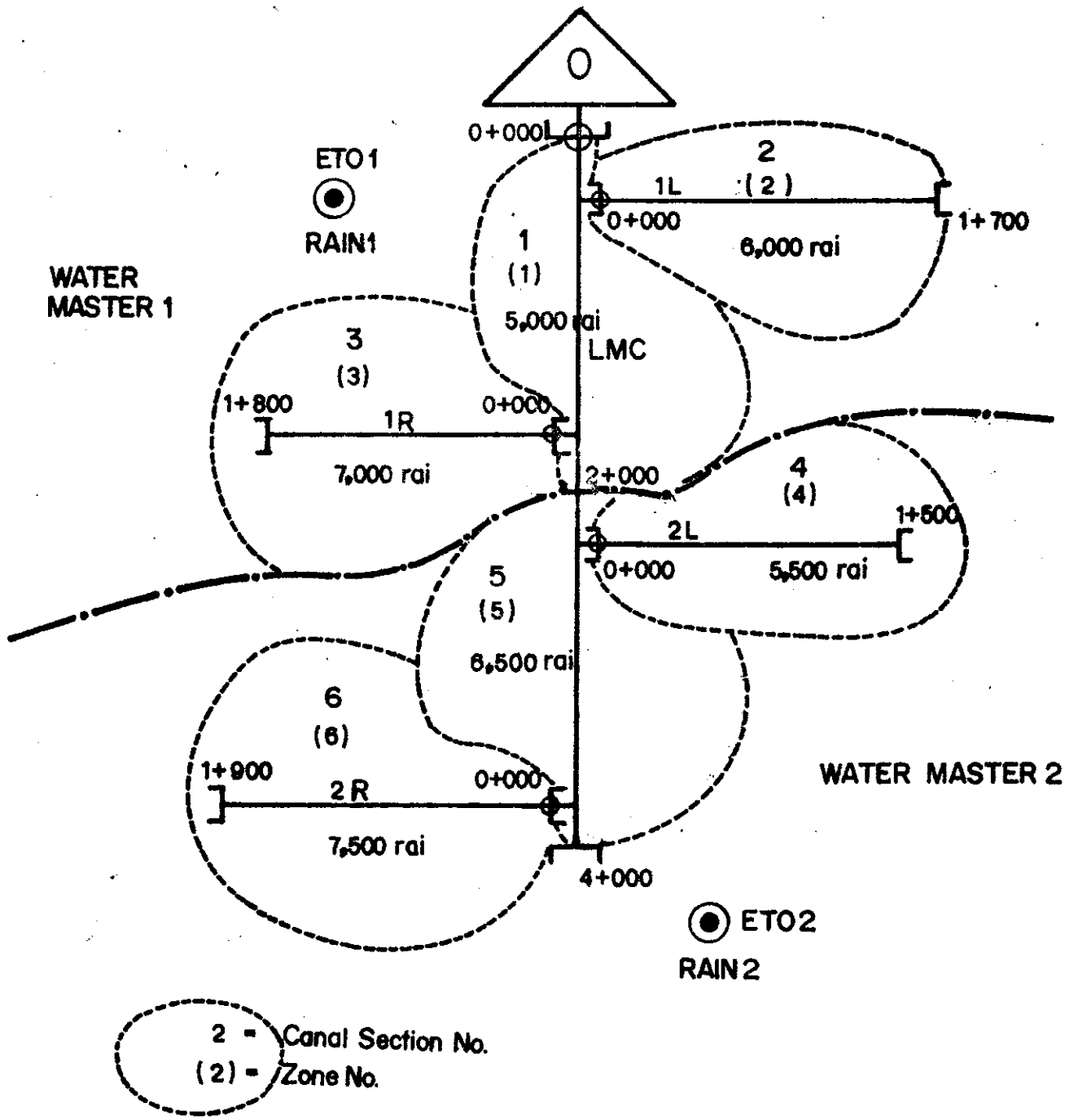
4. Ilaco/Empire M&T. Water Allocation Scheduling and Monitoring. General Program Description. Royal Irrigation Department. April 1988(a).

5. Ilaco/Empire M&T. Water Allocation Scheduling and Monitoring. WASAM Computer Manual. Royal Irrigation Department. April 1988(b)

6. Vudhivanich, V., Water Allocation Scheduling & Monitoring, CEC/ AIT-Training Document, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University. Kamphaeng-saen Campus, Nakorn Pathom, September 1988.

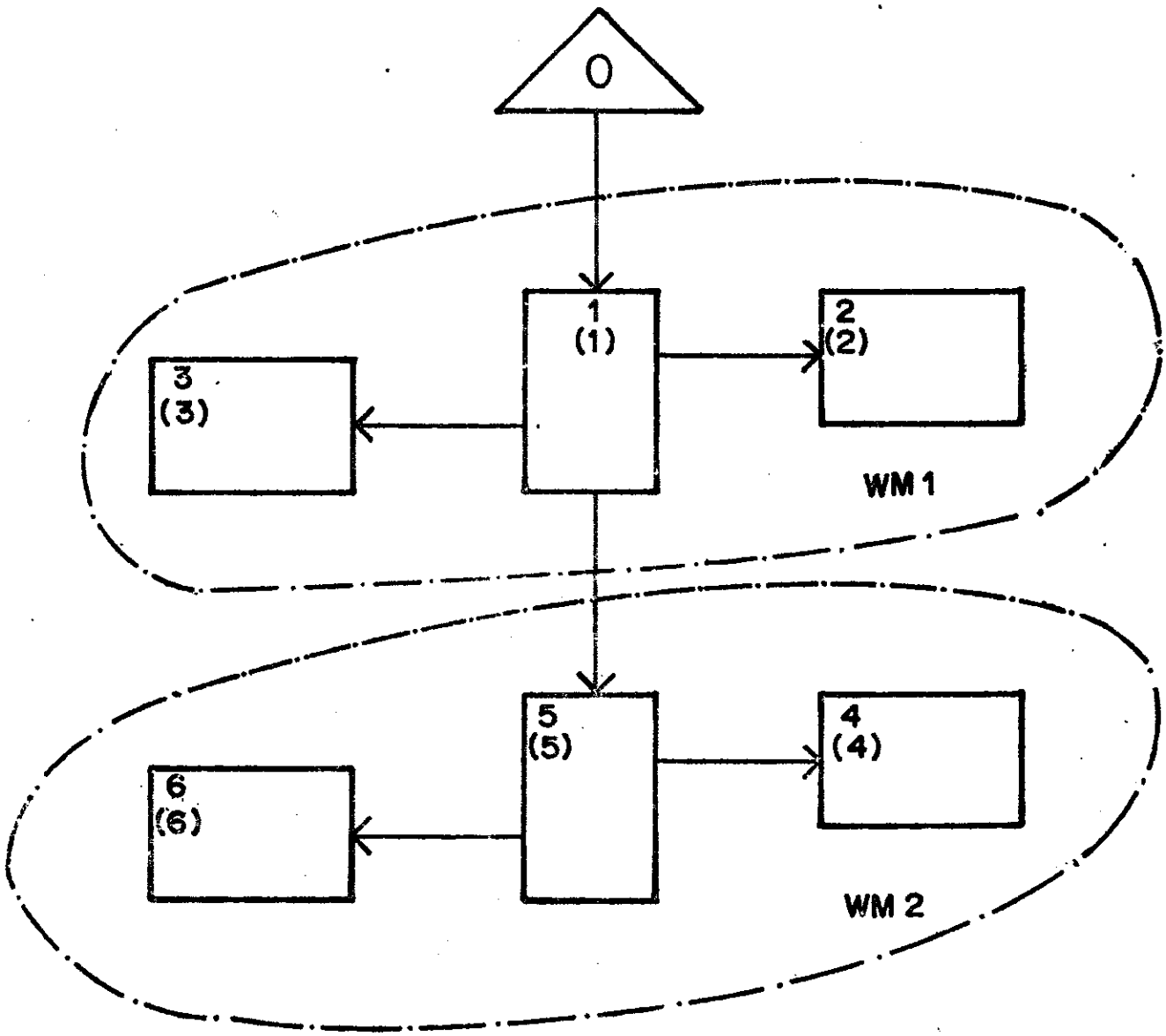
รูปที่ 2.21

WASAM Demonstration
KU Irrigation System
DEMON Project (Project 1)



รูปที่ 2.22

Schematic Diagram of Demon Project



รูปที่ 2.23

Data for Demon Project

1. **First Thursday 1995** - 5 January 1995
2. **Dry Season 1995** - start week 6 (9 Febuary 1995)
   - only paddy in dry season
3. **Monitoring Points** 1 , 5
4. **Report** - project engineer = 1 , 5
   - water master 1 = 1 , 2 , 3
   - water master 2 = 4 , 5 , 6

Command Area + Cultivated Area

Ditch Characterstics

WM	ZONE	ZONE COMMAND AREA (rai)	Ditch No.	Ditch Capacity l/s	Ditch Area (rai/ditch)	Total Ditch Area
1	1	5,000	1-4	60	260	4,550
			5-9	90	390	
			10-12	120	520	
	2	6,000	1-4	60	260	5,980
			5-10	90	390	
			11-15	120	520	
	3	7,000	1-5	120	520	6,500
			6-11	150	650	
2	4	5,500	1-3	60	260	5,330
			4-8	90	390	
			9-13	120	520	
	5	6,500	1-5	120	520	6,500
			6-11	150	650	
	6	7,500	1-6	120	520	7,020
			7-12	150	650	

ฉบับที่ 2.24

GENERAL DATA

FOR IRRIGATION SYSTEM: AIT

NUMBER OF PROJECTS:	1
PROJECT NAMES:	DEMON
NUMBER OF EVAPOTRANSPIRATION STATIONS:	2
NUMBER OF RAINFALL STATIONS:	2
MAXIMUM NUMBER OF CANAL SECTIONS:	300
MAXIMUM NUMBER OF ZONES PER PROJECT:	50
MAXIMUM NUMBER OF DITCHES PER SECTION:	25

FIRST DAY OF THE FIRST POSSIBLE IRR.WEEK: 5/ 1/1995 Thursday

TYPE OF CROPS:	Padd DS	Padd WS	Sugar C	Other C
DAILY MONITORING POINTS:	1	5		

TOTAL NO. OF DAILY MONITORING POINTS:	2
MONITORING GRAPHS START WEEK:	6
NO. OF WEEKS ON GRAPHS(MAX=23):	21

CANAL SYSTEM DATA

FOR IRRIGATION SYSTEM : AIT

Name	Begin	End	Nr	Fat	QMax	QMin	Eff.	ZoWP	Ev	Er	COMAR
LMC	0.000	2.000	1	0	8.625	3.450	.0010	111	1	1	5000
1L	0.000	1.700	2	1	1.380	0.000	.0020	211	1	1	6000
1R	0.000	1.800	3	1	1.610	0.000	.0020	311	1	1	7000
LMC	2.000	4.000	5	-1	4.485	1.800	.0010	521	2	2	6500
2L	0.000	1.500	4	5	1.265	0.000	.0020	421	2	2	5500
2R	0.000	1.900	6	-5	1.725	0.000	.0020	621	2	2	7500

```
PROGRAM  PRREPMS.BAS
'=================================================================
' input data line
'=================================================================
100    DATA  DEMON                                    : 'project area

       '==== WM,{CS(main),CS..CS(branches),0},0   ==> for section 1,2,..
       DATA 1,1,2,3,0,0                             : 'wm section 1
       DATA 2,5,4,6,0,0                             : 'wm section 2
       DATA 0

       '====CS,..,CS,0,CS,..,CS,0
       DATA 1,0,0:   '==== Total discharge in and out of the project area

       '==== Water master reports
       '==== WM,FZ(first zone),LZ(last zone),...,FZ,LZ,0,0
       DATA 1,1,3,0,0
       '====CS,..,CS,0,CS,..CS,0
       DATA 1,0,5,0:   '====  Total discharge in and out w.m. sector 1

       DATA 2,4,6,0,0
       DATA 5,0,0 :    '====  Total discharge in and out w.m. sector 2

       DATA 0
       DATA "END"
```

```
'=================================================================
PROGRAM PRREPMS.BAS
'=================================================================
' input data line
'=================================================================
       DATA " DEMON ":      '==== project area
       'FZ,LZ,...,FZ,LZ,0,0
       DATA 1,6,0,0
       DATA "END"
'=================================================================
```

บทปฏิบัติการที่ 2

การใช้ WASAM ในงานจัดสรรน้ำของโครงการ

==========

ปฏิบัติการที่ 2.1

SPN irrigation project has general characteristics as shown in map 2.1 The project has a total command area of 336,484 rai (1 rai= 1,600 m) divided into 5 water master sections. Each water master section has 7 - 11 zones. There are all together 43 zones. The canals including main and laterals are divided into 57 canal sections. Each canal section has general data as shown in table 2.10

There are 5 rain gages and 2 ETo stations as shown in map 2.1.

Your assignments are:

(1) Draw a schematic diagram of SPN project to show canal sections and theirs connectivity.

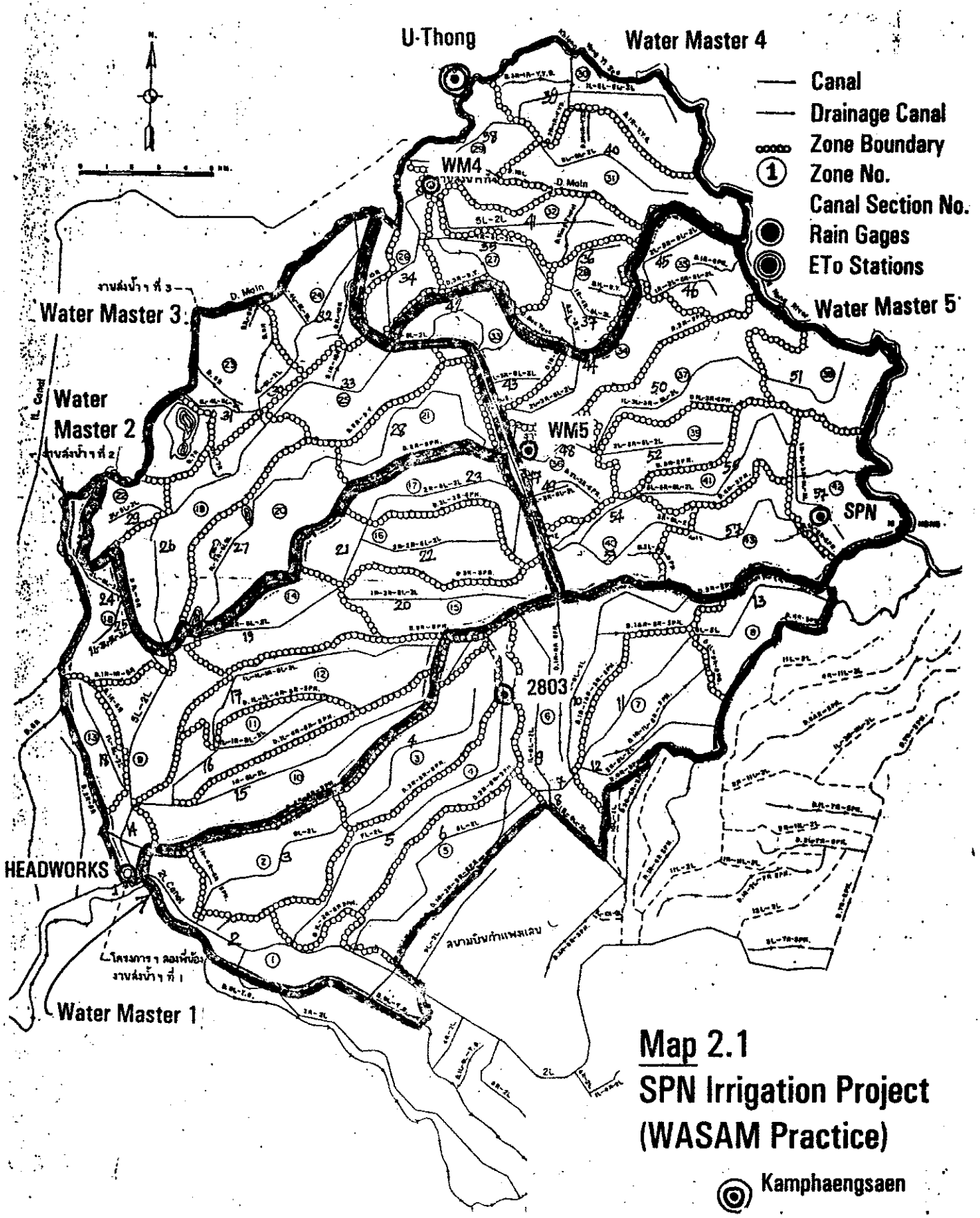
(2) Use Theissen polygon technique to determine ETo polygon area. Adjust the boundaray of the polygon such that each canal section must fall into one of the ETo ploygon area only.

Let Kamphaengsaen Station = Station NO.1
U-Thong Station = Station No.2

(3) Do the same thing for Rainfall

Let SPN Station = Station No.1
WM5 Station = Station No.2
WM4 Station = Station No.3
Headworks Station = Station No.4
2803 Station = Station No.5

(4) Fill in Nr, Fat, ZoWP, Ev, Er for each canal section in Table 2.10



Map 2.1
SPN Irrigation Project
(WASAM Practice)

Table 2.10

CANAL SYSTEM DATA

FOR IRRIGATION SYSTEM : SPN-Project

Name	Begin	End	Nr	Fat	QMax	QMin	Eff.	ZoWP	Ev	Er	COMAR
HEADWORK	22.700	22.700	1	0	99.634	0.000	.0000	5011			0
2L	22.700	35.000			82.980	0.000	.0010				9966
6L-2L	0.000	6.915			3.162	0.000	.0025				9238
6L-2L	6.915	15.789			2.004	0.000	.0025				7052
7L-2L	0.000	15.892			2.105	0.000	.0025				12966
8L-2L	0.000	9.782			7.962	0.000	.0025				12633
8L-2L	9.782	12.544			6.716	0.000	.0025				300
1R-8L-2L	0.000	3.083			0.649	0.000	.0025				1756
1L-8L-2L	0.000	7.581			1.204	0.000	.0025				7582
2L-8L-2L	0.000	10.864			1.470	0.000	.0025				8361
8L-2L	12.544	19.265			2.897	0.000	.0025				7560
2R-8L-2L	0.000	6.105			0.932	0.000	.0025				5231
8L-2L	19.265	25.370			1.315	0.000	.0025				5200
5L-2L	0.000	9.183			51.100	0.000	.0010				6952
1R-5L-2L	0.000	14.972			4.911	0.000	.0025				28034
1L-1R-5L-2L	0.000	7.870			2.330	0.000	.0025				15187
1L-1L-1R-5L-2L	0.000	11.091			1.453	0.000	.0025				8340
1L-5L-2L	0.000	5.665			0.642	0.000	.0025				3925
2R-5L-2L	0.000	7.291			9.086	0.000	.0025				9294
1R-2R-5L-2L	0.000	7.156			1.598	0.000	.0020				8181
2R-5L-2L	7.291	10.174			2.676	0.000	.0025				3872
2R-2R-5L-2L	0.000	5.291			1.452	0.000	.0025				7156
2R-5L-2L	10.174	18.467			2.651	0.000	.0025				8267
2L-5L-2L	0.000	7.300			1.456	0.000	.0025				6850
1L-2L-5L-2L	0.000	3.262			0.779	0.000	.0025				1874
5L-2L	9.813	20.300			34.599	0.000	.0010				8979
1L-2R-5L-2L	0.000	9.173			3.314	0.000	.0025				9536
1L-2R-5L-2L	9.173	18.320			2.104	0.000	.0025				6550
3L-5L-2L	0.000	2.757			1.040	0.000	.0025				2904
4L-5L-2L	0.000	3.054			5.297	0.000	.0020				3977
1L-4L-5L-2L	0.000	2.995			0.649	0.000	.0025				2908
4L-5L-2L	3.054	9.600			2.528	0.000	.0025				8100
5L-2L	20.300	26.401			29.357	0.000	.0025				6370
5L-2L	26.401	33.664			10.320	0.000	.0010				1962
4R-5L-2L	0.000	5.524			2.177	0.000	.0025				3251
4R-5L-2L	5.524	9.460			1.494	0.000	.0030				2859
1R-4R-5L-2L	0.000	1.870			0.530	0.000	.0030				1576
5L-5L-2L	0.000	5.698			6.254	0.000	.0025				6165
1L-5L-5L-2L	0.000	7.640			2.359	0.000	.0025				7864
5L-5L-2L	5.698	12.640			2.359	0.000	.0025				5454
5L-2L	33.664	41.188			1.273	0.000	.0030				5117
3R-5L-2L	0.000	8.450			20.249	0.000	.0025				2815
1L-3R-5L-2L	0.000	2.060			0.695	0.000	.0025				2368
2L-3R-5L-2L	0.000	8.230			3.641	0.000	.0025				5163
2L-3R-5L-2L	8.230	12.500			1.370	0.000	.0030				4343
1R-2L-3R-5L-2L	0.000	3.000			0.675	0.000	.0030				1226
3R-5L-2L	8.450	12.422			14.364	0.000	.0025				1127
3L-3R-5L-2L	0.000	3.550			6.602	0.000	.0025				2389
4L-3R-5L-2L	0.000	1.650			0.402	0.000	.0025				1145
1L-3L-3R-5L-2L	0.000	7.337			4.286	0.000	.0030				8895
1L-3L-3R-5L-2L	7.337	12.800			1.914	0.000	.0030				4276
3L-3R-5L-2L	3.550	8.480			1.404	0.000	.0025				5165
3R-5L-2L	12.422	19.392			6.755	0.000	.0025				4481
5L-3R-5L-2L	0.000	3.162			3.402	0.000	.0025				1284
5L-3R-5L-2L	3.162	10.399			3.155	0.000	.0030				3734
1R-5L-3R-5L-2L	0.000	6.426			2.068	0.000	.0025				4217
3R-5L-2L	19.392	27.530			1.914	0.000	.0030				7477

ปฏิบัติการที่ 2.2

From Laboratory assignment # 2.1 (WASAM application to SPM irrigation Project), the additional information and data are given below:

(1) The average biweely rainfall data and the ETo data are given in Table 2.11 and 2.12 respectively.

(2) The weighted Kc, land preparation requirement and percolation of the 4 main crops (wet season rice, dry season rice, sugarcane and other crops) are given in Table 2.13-2.15

You are asked to use WASAM computer program to help the project engineer of SPN project to allocate water to different canal sections on weekly basis for the coming dry season 1995 which will start on Feb. 2, 1995. (The frist Thursday of 1995 is January 5.)

Your specific assignments are:

(1) Produce project engineer, water master and zoneman reports for the first two weeks of Febuary 1995. You may assume and neccessary data you want such as type of crops, crop area, planting week, and field wetness in each canal section.

(2) Produce monitoring reports of the actual discharfge VS. calcutated allocation to each water master section. Also you may assume any data you want.

ตารางที่ 2.11

Average Bi-Weekly Rainfall (mm) during 1990-1994 for 5 Stations in SPN Project

Month	Day	Stations				
		SPN	WM5	WM 4	Headworks	2803
Apr.	1-15	31.20	33.60	27.30	22.30	23.60
	16-30	13.90	1.50	0.60	5.10	3.30
May.	1-15	8.00	19.20	18.30	27.30	26.60
	16-31	18.60	45.50	59.70	42.80	32.40
Jun.	1-15	60.10	49.70	68.30	61.80	48.50
	16-30	18.30	12.60	11.60	31.40	5.90
Jul.	1-15	30.10	47.40	38.10	23.40	8.70
	16-31	34.40	58.40	32.80	62.30	23.30
Aug.	1-15	88.20	73.80	37.70	65.10	23.70
	16-31	83.30	29.80	116.30	48.70	26.20
Sep.	1-15	50.60	40.00	50.30	61.90	39.20
	16-30	193.80	137.20	82.60	94.40	111.70
Oct.	1-15	86.00	139.50	141.00	157.70	132.70
	16-31	124.50	113.70	104.70	124.70	96.90
Nov.	1-15	0.90	9.60	4.90	7.60	0.40
	16-30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 2.12

Average Monthly ETo (mm/month) for Kamphaengsaen and Uthong Stations

Month	Kamphaengsaen	Uthong.
Jan.	117	118
Feb.	123	126
Mar.	165	172
Apr.	168	176
May.	153	167
Jun.	128	139
Jul.	134	143
Aug.	126	136
Sep.	116	120
Oct.	116	118
Nov.	112	118
Dec.	111	118

ตารางที่ 2.13

Table 3 Land Preparation Requirement, Weighted Kc and Percolation for Rice

(a) Dry season

Week number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Land preparation in mm/week	83	55	47	36	30	17																
Vighted Crop Conf. (K_c)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.91	1.03	1.07	1.09	1.10	1.10	1.10	1.11	1.14	1.17	1.20	1.21	1.17	1.02	0.77	0.52	0.33	0.10
Percolation factor(P)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.88	0.98	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
Percolation	1	3	4	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	5	4	2	1
(7 mm/week)																						

(b) Wet season.

Week number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Land preparation in mm/week	83	55	47	36	30	17																
Vighted Crop Conf. (K_c)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.91	1.03	1.07	1.09	1.10	1.10	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.04	1.02	0.99	0.69	0.48	0.28	0.09
Percolation factor(P)	0.13	0.36	0.57	0.76	0.88	0.98	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1
Percolation	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	1	0
(3.5 mm/week)																						

ตารางที่ 2.14 Weighted Kc and Land Preparation Requirment for Sugarcane

Month	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG
Weighted crop coef. (K_c)	1.18	1.02	0.66	0.47	0.44	0.70	0.91	1.06	1.15	1.19
Water requirement for Land preparation in mm.	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-

ตารางที่ 2.15 Kc for Other Crops

Month	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Crop coefficient (K_c)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

บทที่ 3

การออกแบบระบบท่อส่งน้ำด้วยโปรแกรม BRANCH และ LOOP

3.1 คำนำ

โปรแกรมออกแบบระบบท่อส่งน้ำที่จะกล่าวถึงในบทนี้คือ โปรแกรม BRANCH Version 3.0 และโปรแกรม LOOP Version 4.0 ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดย Asian Water Supply and Sanitation Sector Development ของ UNDP/World Bank ความจริงแล้วโปรแกรมชุดนี้ยังมีอีก 1 โปรแกรมคือ SEWER Version 3.0 แต่ไม่ได้พูดถึงในบทนี้

โปรแกรม BRANCH และ LOOP เป็นโปรแกรมที่มีประโยชน์ในการวางแผนและออกแบบระบบท่อส่งน้ำที่มีราคาประหยัด ตามหลัก Optimization ทำให้สามารถออกแบบระบบท่อส่งน้ำได้อย่างรวดเร็ว ตัวโปรแกรมถูกออกแบบให้ทำงานแบบ Interactive จึงใช้งานง่าย แต่ผู้ใช้ต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบระบบท่อส่งน้ำจึงจะสามารถใช้โปรแกรมได้

3.2 BRANCH Version 3.0

โปรแกรม BRANCH 3.0 มีขีดความสามารถและขีดจำกัดดังนี้

- สามารถใช้หา Optimal design ของระบบท่อส่งน้ำขนาดค่อนข้างใหญ่ที่เชื่อมต่อเป็น Branch ทั้งระบบใหม่หรือขยายระบบที่มีอยู่เดิม
- สามารถออกแบบระบบท่อส่งน้ำซึ่งมีจำนวนท่อมากถึง 125 ท่อ
- สามารถกำหนดให้ใช้สูตร Hazen William's หรือสูตรของ Darcy Weisbach ได้
- สามารถเลือกใช้หน่วยทั้งระบบเมตริกหรือระบบอังกฤษ หรือหน่วยผสม เช่น กำหนดความยาวเป็นฟุต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเป็น มม. เป็นต้น
- ผู้ใช้สามารถกำหนดความดันต่ำสุดที่ Node ได้

3.2.1 ข้อมูลที่โปรแกรม BRANCH ต้องการ

(1) ข้อมูลทางเรขาคณิต (Geometric Data)

- การเชื่อมต่อของ Node-Pipe

- ความยาวของท่อแต่ละช่วง
- ระดับดินที่ Node ต่าง ๆ

(2) **ข้อมูลทางชลศาสตร์** (Hydraulic Data)

- ความต้องการน้ำเฉลี่ยที่ Node จ่ายน้ำ
- ค่าสัมประสิทธิ์ Hazen-William's f หรือ Darcy Weisbach's K

(3) **ข้อมูลแหล่งน้ำ** (Source Data)

- HGL ของอ่างเป็นน้ำหรือถังน้ำ (Reference Reservoir) และอัตราการจ่ายน้ำของแหล่งน้ำเป็นถังน้ำหรือเครื่องสูบน้ำ

(4) **ข้อมูลสำหรับการประมาณราคา** (Coot Estimation Parameters)

- ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อที่มีขายในท้องตลาด ส.ป.ส. ความผิด และราคาท่อต่อหน่วยความยาว

(5) **ข้อมูลพารามิเตอร์ควบคุมสำหรับการออกแบบ**

(Design Cotrol Parameters)

- ความดันต่ำสุดที่ Node (minimum residual pressure)
- การสูญเสียพลังงานสูงสุดและต่ำสุด

3.2.2 รายละเอียดโปรแกรม BRANCH 3.0

โปรแกรมประกอบไฟล์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- BRANCH 3. BAT
- BRANCH. EXE
- BRANCH. HLP
- DEMO.BRA (ไฟล์ข้อมูลตัวอย่าง)
- PRTBRA (ไฟล์ช่วยการพิมพ์ผลลัพธ์)

ในโปรแกรม BRANCH 3. BAT มีรายละเอียดเกี่ยวกับ Configur·ation

สำหรับการ Run โปรแกรมดังนี้

CLS

BRANCH /1 /f1 /r66 /t3 /b3 /u /pLPT1 /cBht /hY

ผู้ใช้สามารถเข้าไปแก้ไขไฟล์เพื่อเปลี่ยนพารามิเตอร์ตามที่ต้องการได้ ดังนี้

parameter		pipes	nodes	max. pipe dia.
/ 1	large model	125	126	20
/m	medium	75	76	30
/s	small	50	51	15

/ fn = no. of hard disk, i.e. /f2

/ rn = page langth in lines, i.e /r66

/ tn = no. of lines on top margin, i.e. /t3

/ bn = no. of lines on bottom margin, i.e. /b3

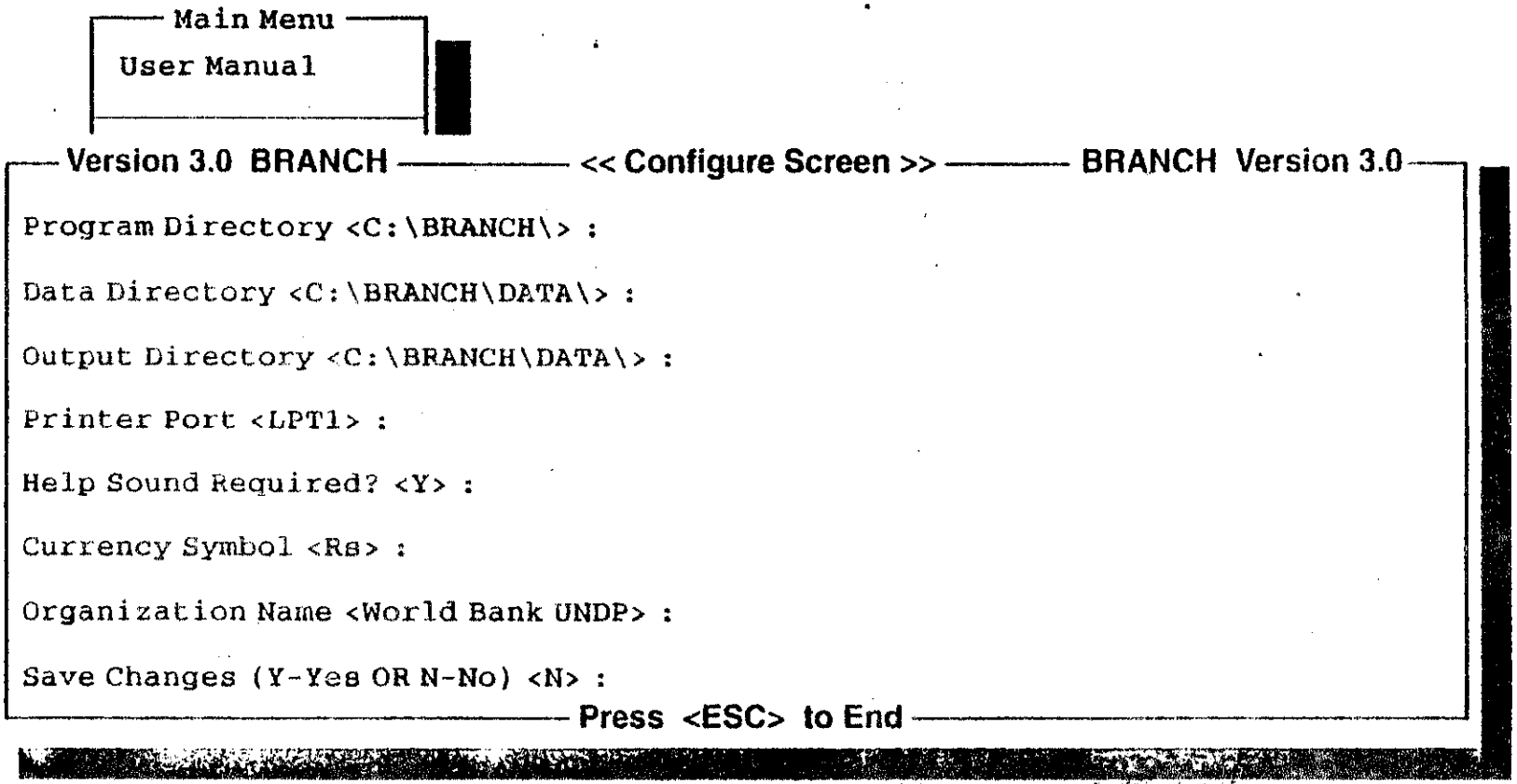
/ u or /a = auto numbering of pipes or disable auto-numbering

/ pLPT1 = printer on LPT1

/ cBht = Currency in Bht

/ hY or /hn = sound during on line help

อย่างไรก็ตาม Configuration เบื้องต้นสำหรับ Run โปรแกรม สามารถแก้ไขได้โดยเรียก Configure Screen มาแก้ไขดังรูปที่ 3.1



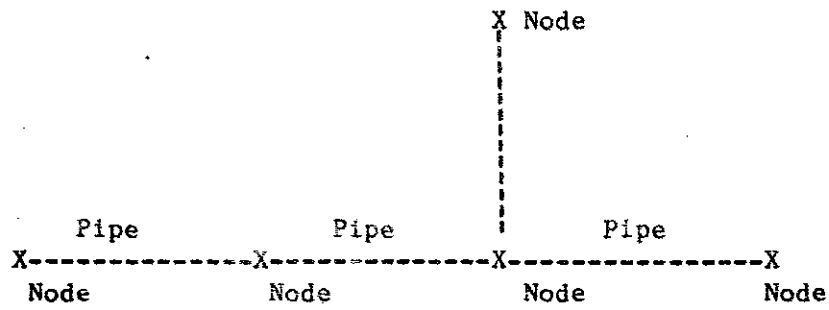
Use to choose

Change present Setup

चित्र 3.1 CONFIGURATION SCREEN

3.2.3 การกำหนด Node-Pipes

หลังจากทำการวางโครงร่าง (layout) ระบบท่อส่งน้ำแล้วจะต้องนำมาเขียน Node-Pipes Deagram ดังรูป



Node หมายถึงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลหรือระดับดิน หรือชนิด/ชั้น/ขนาดของท่อ ลักษณะของ Node โดยทั่ว ๆ ไปได้แก่

- Water Extraction or demand point
- Junction
- Beginning and tail nodes of branched network
- Reservoir or input node

Pipe หมายถึงท่อที่อยู่ระหว่าง 2 Nodes ดังนั้นจำนวน pipe จะน้อยกว่าจำนวน Node อยู่หนึ่งเสมอ

3.2.4 สมการที่ใช้คำนวณ

(1) สมการ Hazen William's

$$V = 0.85\ C_R^{0.63}\ S^{0.54} \quad \text{.....(3.1)}$$

เมื่อ V = velocity of flow in m/S

R = hydraulic radius ($= \frac{D}{4}$) in m.

D = Pipe diameter in m.

S = hydraulic gradient in m/m.

C = Hazen William's constant ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดท่อ

(2) สมการ Darcy-Weisbach

$$V = \frac{S^{0.5} (2 g D)^{0.5}}{f} \qquad \text{.....(3.2)}$$

เมื่อ V = velocity of flow in m/s

f = Darcy's friction factor

$1/f^{0.5} = 1.14 - 2 \log (k/D + 21.25/Re^{0.9})$

k = roughess height

Re = Reynold's number

3.2.5 ตัวอย่างการออกแบบท่อด้วย BRANCH 3.0

สมมติ Node-Pipe diagram ของระบบท่อส่งน้ำ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.2 ในตัวอย่างประกอบด้วย 14 nodes และ 13 pipes Node 1 และ Node 14 คือ sources Nodes 2-13 คือ demand points pipes 2 และ 4 คือท่อที่มีอยู่เดิม หลังจากที่เตรียมข้อมูลตามที่กล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.1 แล้วจึง Run โปรแกรม ซึ่งจะปรากฏ Main Menu ดังรูปที่ 3.3 แล้วจึงเรียก File Menu และสร้างไฟล์ข้อมูล (Create/Edit Data)

การป้อนข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 5 Screen ตามประเภทของข้อมูลดังนี้

Screen I - General Information

Screen II - Pipe Data

Screen III - Node Data

Screen IV - Reference Node

Screen V - Commercial Diameter Data

รายละเอียด Screen I-V แสดงอยู่ในรูปที่ 3.4 หลังจากสร้างไฟล์ข้อมูลดังเช่นไฟล์ DEMO.BRA แล้ว จึงเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบหรือ Design Network ใน Main Menu

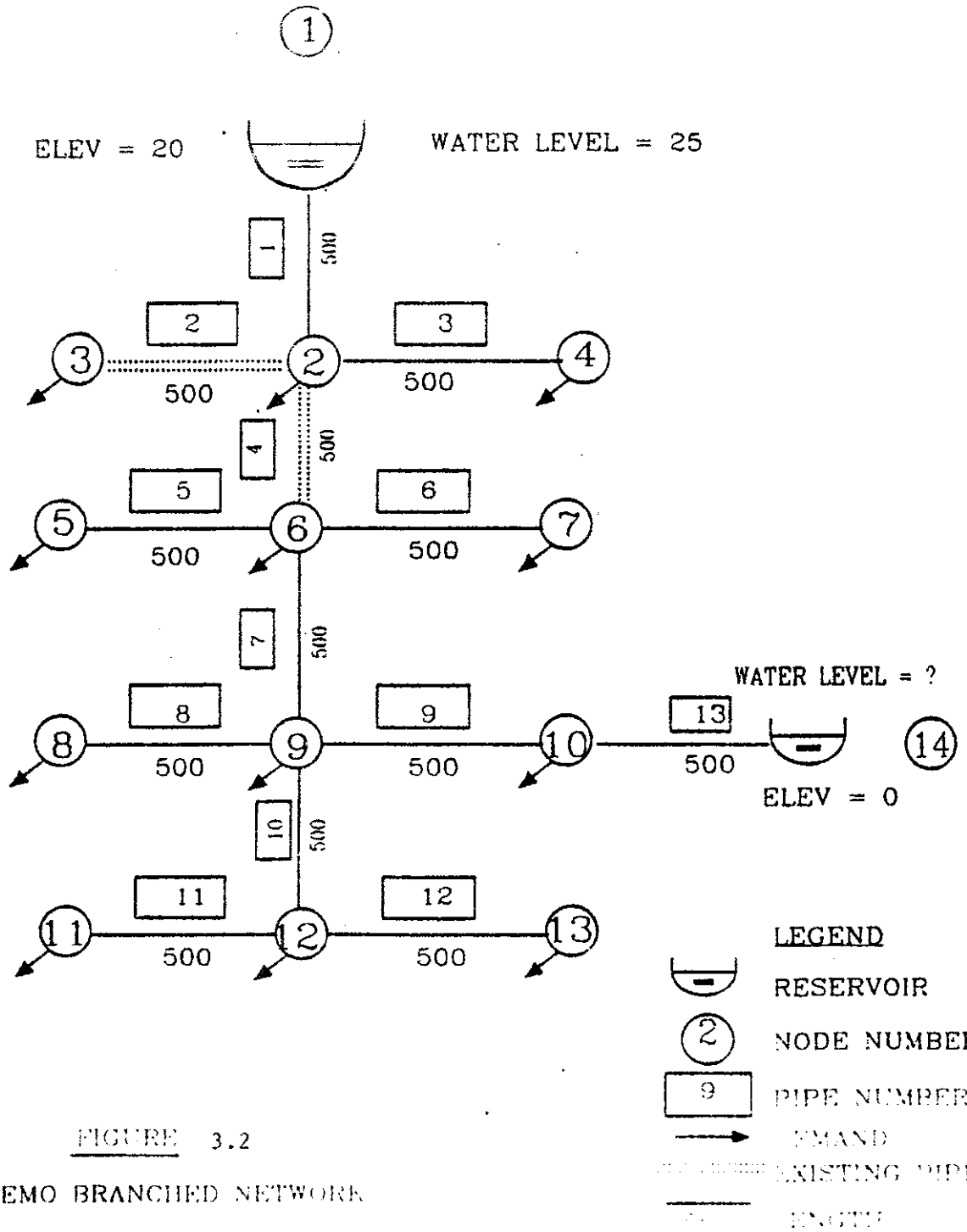
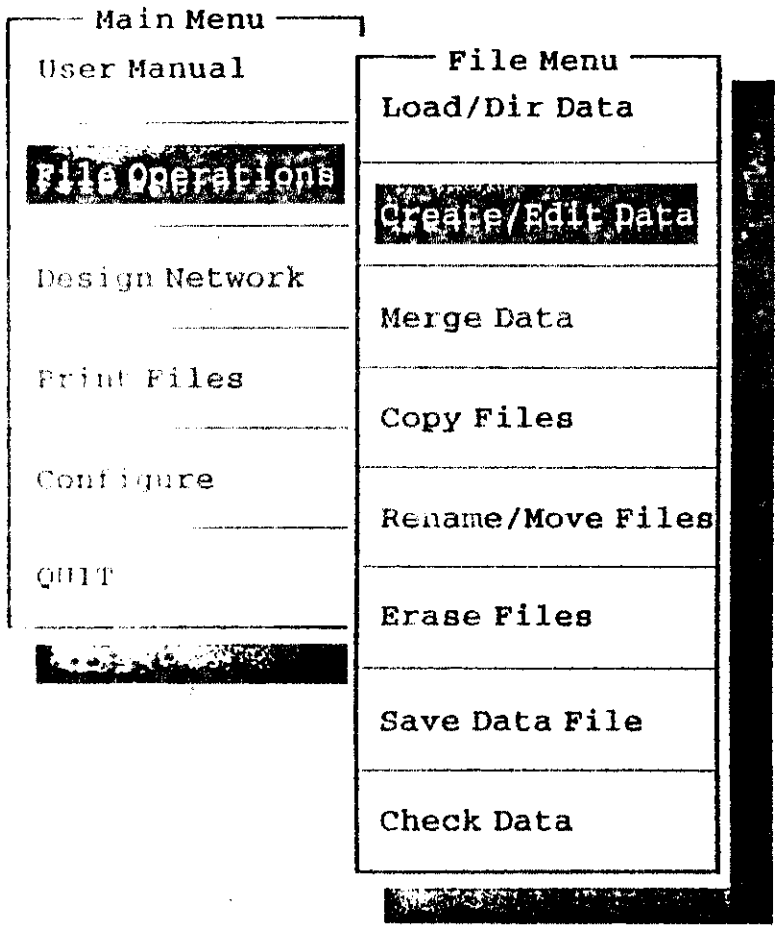


FIGURE 3.2

DEMO BRANCHED NETWORK



รูปที่ 3.3 FILE MENU

3-8

Create/Edit Data File

General Information (Scr-I)

Title of the Project	:	BranchNetwork	
Name of the User	:	Juzer	
Number of Pipes	:	13	
Number of Commercial Dia.	:	5	
Peak Factor	:	1	
Min Headloss m in km	:	.05	
Max Headloss m in km	:	20	
Min Residual Pressure m	:	10	
Type of Formula (1/2)	:	1	Hazen's
Unit of Pipe Length (1/2)	:	1	metres
Unit of Pipe Diameter (1/2)	:	1	millimetres
Unit of Flow (1/2)	:	1	litres/sec
Unit of Head (1/2)	:	1	metres
Unit of Elevation (1/2)	:	1	metres
Unit of Pressure (1/2)	:	1	metres

Pipe Data (Scr-II)

Pipe Number	From Node	To Node	Length m	Diameter mm	Hazen's Constant	Exs/ Parl
1	1	2	500			
2	2	3	500	100	110	E
3	2	4	500			
4	2	6	500	100	110	P
5	6	5	500			
6	6	7	500			
7	6	9	500			
8	9	8	500			
9	10	9	500			
10	9	12	500			
11	12	11	500			
12	12	13	500			
13	14	10	500			

Node Data (Scr-III)

Node No.	Peak Factor	Flow lps	Elev m	Res Press m	Meet Res. Pres (Y/N)
1			20		
2		-3			
3		-3			
4		-3			
5		-3			
6		-3			
7		-3			
8		-3			
9		-3			
10		-3			
11		-3			
12		-3			
13		-3			
14	1	10			

รูปที่ 3.4 Screen สำหรับการป้อนข้อมูล

Reference Node (Scr-IV)

Node No.	H G L m
1	25

Commercial Diameter Data (Scr-V)

Pipe Dia. Int.mm	Hazen's Constant	Cost RS/m
75	100	75
100	110	120
150	110	200
200	110	300
250	120	430

รูปที่ 3.4 (ต่อ) Screen สำหรับการป้อนข้อมูล

กรณีที่ต้องการแก้ไขข้อมูลโดย Create/Edit Data ใน File Menu

โปรแกรม BRANCH 3.0 มี Function Keys ดังตารางที่ 3.1 เพื่อช่วยให้สามารถแก้ไขไฟล์ข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น

ตารางที่ 3.1 Function Keys

Keys	คำอธิบาย
[F1]	Provides a pop up screen having context specific help. If sound is chosen in the configuration option, then the help text is flashed on the window with an emulation of the sound of a typewriter.
[SHIFT] + [F1]	Displays a text showing a summary of features of both ordinary keys as well as function keys reserved for editing facilities
[F2]	Inserts a line at the cursor position.
[F3]	Deletes a line at cursor position.
[F4]	Appends (or adds) a line at the bottom of the data entry screen.
[F5]	Copies a value down the cursor position in the same column. User is asked to specify the desired number of times copying is to be done.
[F6]	Does mathematical manipulations to the value at the cursor such as, * (Multiply) / (Divide) + (Add) or - (Subtract)
[F7]	Displays the total of all values down the cursor position (including the value at the cursor position). This facility is useful to obtain instant total of fields such as flows, lengths etc.
[F8]	This is a special key designated to mark the existing pipes in the Pipe Data screen.
[SHIFT] + [F8]	This is a special key designated to mark the parallel pipes in the Pipe Data (Scr-II) screen.
[F9]	Searches the specified value in the column where the cursor is positioned and if the search is successful then shifts the location of the cursor to the matching value.
[F10]	This is a special key available only in the General Information (Scr-I) screen which when pressed allows the user to over type the number of pipes.

การใช้ F6 Key ให้เลื่อน cuser ไปที่ Field ที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม F6 ซึ่งที่ Prompt จะถามรูปสมการ (Equation) เช่นถ้าต้องการเปลี่ยนค่าความยาวท่อจากเป็นเป็นฟุต ให้พิมพ์สมการดังนี้

* 3.28 < Enter >

นอกจากนี้ยังมี Other Keys ซึ่งมีประโยชน์ต่อการเข้าไปแก้ไขข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.2

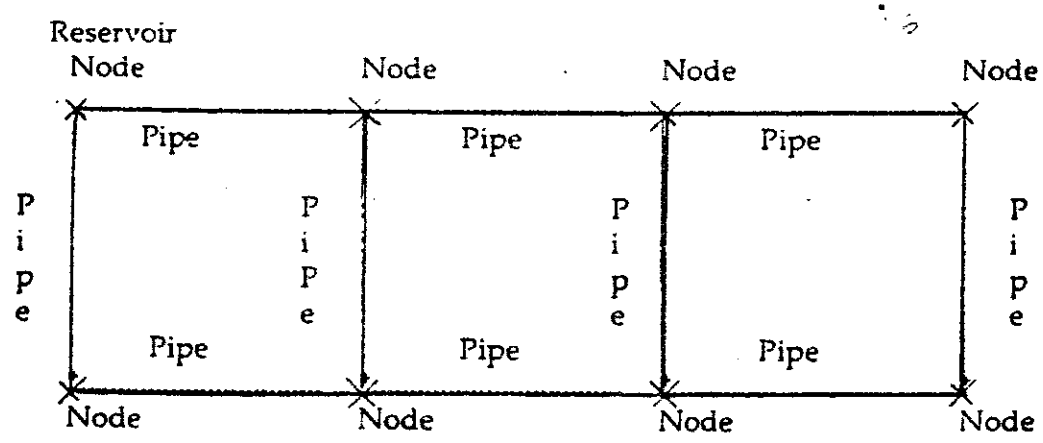
ตารางที่ 3.2 Other Keys

Key to be Pressed	Facility Offered
<UP>	Move up one line
<DOWN>	Move down one line
<RIGHT>	Move right one character
<LEFT>	Move left one character or to the previous field
<ENTER>	Accept entry and move to the next field
<HOME>	Move to first entry in column
<END>	Move to last entry in column
<PGUP>	Go to previous page of the same screen
<PGDN>	Go to the next page of the same screen
<INS>	Insert a space in between two characters
<DEL>	Delete a character at cursor position
<BKSPACE>	Delete a character before cursor position
<TAB>	Move to next screen
<SHIFT>+<TAB>	Move to previous screen

ผลการ Run โปรแกรม BRANCH 3.0 โดยใช้ไฟล์ข้อมูล DEMO.BRA จะได้ผลลัพธ์ซึ่งเก็บไว้ในไฟล์ DEMO.OUT ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.3 LOOP VERSION 4.0

โปรแกรม LOOP 4.0 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อส่งน้ำที่ต่อเป็น LOOP ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Node-Pipe Diagram ที่ต่อเป็นระบบ LOOP

โปรแกรม LOOP ใช้หา Head Loss ความเร็ว Pressure ที่เกิดขึ้นในท่อตลอดจนราคาและความยาวท่อทั้งหมดในแต่ละชนิด และราคาท่อทั้งหมดในโครงการโดยโปรแกรมจะ Trial จนกว่าได้ราคาต่ำที่สุด รวมทั้งสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง HGL, GL ของแต่ละท่อ เพื่อนำไปวิเคราะห์ในการวางระดับท่อได้ด้วย

3.3.1 ข้อมูลสำคัญที่จะต้องใช้ในโปรแกรมมีดังนี้คือ

1. Number of Pipes ขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบ และ มากสุดไม่เกิน 1000 pipes

2. Number of Node ขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบ และ มากสุดไม่เกิน 750 nodes

3. Type of Pipe Materials Used: ชนิดของวัสดุท่อที่จะใช้ คยมีได้มากสุด 3 ชนิด จะใช้เครื่องหมาย "/" คั่นแต่ละชนิดเช่น CI/PVC/PE เป็นต้น

4. Number of Commercial dia per Material : เป็นจำนวนของขนาด ท่อแต่ละชนิดโดยระบุจำนวนขนาดของแต่ละชนิดคั่นเครื่องหมาย "/" โดยให้มีการจัดลำดับเหมือนกับ Type of Pipe Material Used

Output Data File : DEMO.OUT 11 August 1991

Echoing Input Design Variables

Title of the Project		: Branch Network
Name of the User		: Sumito
Number of Pipes		: 13
Number of Nodes		: 14
Number of Commercial Diameters		: 5
Peak Design Factor		: 1
Minimum Headloss in	m/km	: .05
Maximum Headloss in	m/km	: 20
Minimum Residual Pressure	m	: 10
Type of Formula		: Hazen's

Branched Water Distribution Network Design OutPut

Pipe Details

Pipe No.	From Node	To Node	Peak Flow (lps)	Diam (mm)	Hazen's Const	HL (m)	HL/1000 (m)	Length (m)	Status (E/P)
1	1	2	26.000	200.0	110.00000	2.64	5.28	500.00	
2	2	3	3.000	100.0	110.00000	1.42	2.84	500.00	E
3	2	4	3.000	75.0	100.00000	6.87	13.74	500.00	
4	2	6	17.000	100.0	110.00000	2.86	5.72	500.00	
				150.0	110.00000	2.86	5.72	500.00	P
5	6	5	3.000	75.0	100.00000	6.87	13.74	500.00	
6	6	7	3.000	75.0	100.00000	6.87	13.74	500.00	
7	6	9	8.000	150.0	110.00000	1.21	2.42	500.00	
8	9	8	3.000	75.0	100.00000	6.87	13.74	500.00	
9	10	9	7.000	100.0	110.00000	6.81	13.62	500.00	
10	9	12	9.000	150.0	110.00000	1.50	3.00	500.00	
11	12	11	3.000	75.0	100.00000	6.76	13.74	491.82	
				100.0	110.00000	0.02	2.44	8.18	
12	12	13	3.000	75.0	100.00000	6.76	13.74	491.82	
				100.0	110.00000	0.02	2.44	8.18	
13	14	10	10.000	150.0	110.00000	1.83	3.66	500.00	

BRANCH: Branched Water Distribution Design Program - (C) The World Bank/UNDP

รูปที่ 3.5 Output Data File (DEMO.OUT)

Output Data File : DEMO.OUT 11 August 1991

Node Details

Node No.		Peak Flow (lps)	Elevation (m)	H G L (m)	Cal Pres (m)	Spc Pres (m)	Meet Res Pres. (Y)
1	S	26.000	20.00	25.00	5.00	10.00	
2		-3.000	0.00	22.36	22.36	10.00	
3	T	-3.000	0.00	20.94	20.94	10.00	
4	T	-3.000	0.00	15.49	15.49	10.00	
5	T	-3.000	0.00	12.62	12.62	10.00	
6		-3.000	0.00	19.50	19.50	10.00	
7	T	-3.000	0.00	12.62	12.62	10.00	
8	T	-3.000	0.00	11.41	11.41	10.00	
9		-3.000	0.00	18.29	18.29	10.00	
10		-3.000	0.00	25.10	25.10	10.00	
11	T	-3.000	0.00	10.00	10.00	10.00	
12		-3.000	0.00	16.78	16.78	10.00	
13	T	-3.000	0.00	10.00	10.00	10.00	
14	S	10.000	0.00	26.92	26.92	10.00	

Cost Summary

Diameter (mm)	Length (m)	Cost (1000 Rs)	Cum. Cost (1000 Rs)
75.0	2983.64	223.77	223.77
100.0	316.36	61.96	285.74
150.0	2000.00	400.00	685.74
200.0	500.00	150.00	835.74

Pipe-wise Cost Summary

Pipe No	Diameter (mm)	Length (m)	Cost (1000 Rs)	Cum. Cost (1000 Rs)
1	200.0	500.00	150.00	150.00
3	75.0	500.00	37.50	187.50
4	150.0	500.00	100.00	287.50
5	75.0	500.00	37.50	325.00
6	75.0	500.00	37.50	362.50
7	150.0	500.00	100.00	462.50
8	75.0	500.00	37.50	500.00

รูปที่ 3.5 (ต่อ)

Output Data File : DEMO.OUT 11 August 1991

Pipe-wise Cost Summary cont'd

Pipe No	Diameter (mm)	Length (m)	Cost (1000 Rs)	Cum. Cost (1000 Rs)
9	100.0	500.00	60.00	560.00
10	150.0	500.00	100.00	660.00
11	75.0	491.82	36.89	696.89
	100.0	8.18	0.98	697.87
12	75.0	491.82	36.89	734.75
	100.0	8.18	0.98	735.74
13	150.0	500.00	100.00	835.74

BRANCH: Branched Water Distribution Design Program - (C) The World Bank/UNDP

รูปที่ 3.5 (ต่อ)

5. Peak Design factor: เป็นตัวสัมประสิทธิ์ที่จะนำไปคูณปริมาณอัตราการไหลปกติ เพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลสูงสุด ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นตัวออกแบบขนาดท่อ

6. Newton-Raphson Stopping Criterion Lps: เป็นค่าสูงสุดที่ยอมให้เกิดความไม่สมดุลย์ของอัตราการไหลเข้าและออกใน Node ซึ่งในการคำนวณจะมีการ Trial จนกว่าค่าอัตราการไหลเข้าและออกมีค่าต่างกันไม่มากกว่าค่านี้จึงจะหยุด Trial !

7. Minimum Pressure : เป็นค่า Pressure น้อยที่สุดที่ยอมให้เกิดขึ้นที่ Node ปกติมีค่า 7-17 เมตร

8 Maximum Pressure : เป็นค่า Pressure มากที่สุดที่ยอมให้เกิดขึ้น Node ปกติมีค่า 40-80 เมตร

9 Design Hydraulic Gradient m in km: เป็นค่าการสูญเสียพลังงานสูงสุดต่อหน่วยความยาวท่อ 1 กิโลเมตร ทั่วๆไปถ้า Loop ขนาดเล็กจะใช้ 5 เมตร/กม. Loop ขนาดใหญ่จะใช้ 2 เมตร/กม.โดยโปรแกรมจะตรวจสอบค่านี้ ถ้าเกินกว่าค่านี้จะเลือกท่อที่ใหญ่ขึ้นเพื่อลด Heasloss ที่เกิดขึ้นจนกว่าจะมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด

10 Type of formula ชนิดของสูตรที่เลือกใช้ในการคำนวณสามารถเลือกได้ 2 สูตร คือ สูตรของ Hazens และสูตรของ Darcy โดยเลือกจาก Option ในโปรแกรม

11 No of Res. Nodes with Fixed HGL: คือจำนวนของ Node อ้างอิงที่มีค่าของ NGL คงที่เช่นอ่างเก็บน้ำ, Tank เป็นต้น

12 No of Res. Nodes with Variable HGL: คือจำนวนของ Node อ้างอิงที่มีค่า HGL ไม่แน่นอนเช่น Pump

13. No. of Booster Pump คือจำนวนของ Pump ที่ใช้ในการเพิ่มแรงดันในระบบ

14. No. of Pressure Reducing Valves เป็นจำนวนของวาล์วลดแรงดันในระบบ

15. No. of Check Valve คือจำนวนของ Check Valve ในระบบ

16. หน่วยที่ใช้ในโปรแกรม สามารถเลือกใช้ได้ทั้งระบบอังกฤษและระบบเมตริกซ์

17 ข้อมูลเกี่ยวกับตารางท่อ

ในตารางจะมี - Pipe No คือเลขของท่อจะตั้งเป็นจำนวนเต็มระหว่าง 1 ถึง 36,000

- from node คือ เลขของ node ที่ท่อต่อเชื่อมจาก node นี้
- to node คือ เลขของ node ที่ท่อต่อเชื่อมไปที่ node นี้ โดยการ

ต่อเชื่อมจาก node ไป node เหล่านี้ ไม่จำเป็นต้องทราบทิศทางที่แน่นอนของการไหล หาก การไหลที่แท้จริงมีทิศทางต่างจากที่กำหนดโปรแกรมจะกลับตัวเลข node เองโดยอัตโนมัติ

- length คือ ความยาวของท่อ

- dia คือ ขนาดของท่อ ถ้าเป็นท่อที่มีอยู่แล้วในระบบ ก็ใส่ขนาดที่มีอยู่ ถ้ายังไม่มีก็ไม่ต้องใส่ โปรแกรมจะคำนวณออกมาให้เอง

- Pipe Material คือ ชนิดของวัสดุที่นำมาใช้

- Status (E/P) ถ้าต้องการท่อที่มีอยู่เดิมให้ใส่ E ถ้าเป็นท่อที่มีอยู่เดิมและต้องการให้โปรแกรมเลือกท่อให้ใหม่ให้ใส่ P

18. ข้อมูลเกี่ยวกับตาราง Node

ในตารางมี Node No คือตัวเลขของ node จะต้องเป็นค่าจำนวนเต็มระหว่าง 1 ถึง 36.000

- Peak factor, Min Pressure, Max Pressure รายละเอียดตามที่กล่าวแล้วในเบื้องต้น

- Flow หมายถึงอัตราการไหลที่ Node ใด ๆ

- ถ้าเป็น Node จ่ายน้ำให้ใส่ค่า Demand ลงไปโดยค่าที่ใส่เป็นค่าลบ หมายถึงน้ำออกจาก Node

- ถ้าเป็น Pump ให้ใส่เป็นค่าบวก หมายถึงน้ำเข้า Node

- ถ้าเป็น Tank หรือ Reservoir ให้ใส่ค่า 0 โปรแกรมจะคำนวณออกมาให้เอง

- Elevation เป็นค่าระดับของ Node นั้น ๆ ถ้าเป็น Tank หรือ Reservoir ให้ใส่ค่าระดับผิวน้ำ

19 ตาราง Fixed Head Reservoir จะให้ใส่ข้อมูลของ Node อ้างอิงที่มีค่า Head แน่นอน และ GRADE LINE ของ Node นั้นๆ

20. ตาราง Variable Head Reservoir จะให้ใส่ข้อมูลของ Node อ้างอิงที่มี Head ไม่แน่นอน เช่น Pump รายละเอียดเกี่ยวกับค่า Q, H ของ pump และระดับที่ตั้ง pump

21 ตารางเกี่ยวกับวาล์วลดแรงดัน (Pressure Reducing Valve)

22 ตารางเกี่ยวกับ Check Valve

สำหรับข้อมูล 20, 21, 22 ถ้าได้ระบุในในข้างต้นว่าไม่มีในโครงการตารางพวกนี้จะไม่แสดงในโปรแกรม

23 Commercial Diameter Data ข้อมูลที่จะใส่ในตารางนี้จะมีขนาดท่อ , Unit Cost, Pressure ที่ยอมให้เกิดในท่อ, และวัสดุของท่อ โดยถ้าระบุในเบื้องต้นว่ามีท่อ 3 ชนิด โปรแกรมจะมีตารางแสดงราคาท่อออกมา 3 ตารางสำหรับวัสดุท่อแต่ละชนิดตามลำดับที่ได้ระบุไว้

3.3.2 รายละเอียดโปรแกรม Loop Version 4.0

ชุดโปรแกรม LOOP 4.0 ประกอบด้วยไฟล์ต่าง ๆ ดังนี้

- LOOP 4. BAT
- LOOP. EXE
- LOOP : HLP
- DEMO. LOP (ไฟล์ข้อมูล)
- PRTLOP (ไฟล์ช่วยพิมพ์ผลการคำนวณ)

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงสร้างรายละเอียดของ LOOP 4.0 จะเหมือนกับ BRANCH 3.0 ตามที่กล่าวมาแล้ว

3.3.3 ตัวอย่างการออกแบบท่อด้วยโปรแกรม LOOP 4

สมมติ Node-Pipe Diagram ของระบบท่อส่งน้ำที่ต่อกันเป็น LOOP ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ตัวอย่างระบบท่อส่งน้ำมี 20 nodes และ 24 pipes Node 100 และ Node 200 คือเครื่องสูบน้ำ Node 300 เป็นถังเก็บน้ำชั่วคราว (Intermediate Storage) Node 1-17 คือ demand points หลังจากเตรียมข้อมูลแล้วจะสามารถป้อนข้อมูลได้ในทำนองเดียวกับการป้อนข้อมูลของ BRANCH 3.0 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูล DEMO.LOP แสดงอยู่ในรูปที่ 3.8

ผลการ Run โปรแกรม LOOP 4.0 โดยใช้ไฟล์ข้อมูล DEMO.LOP จะถูกเก็บไว้ในไฟล์ DEMO.OUT ดังแสดงในรูปที่ 3.9

3.3.4 การพล็อตเส้น Hydraulic Gradeline (HGL)

หลังจาก Run โปรแกรม LOOP 4.0 และได้ผลลัพธ์แล้วสามารถส่งให้เขียนเส้น HGL ได้โดยเรียก DISPLAY MENU ดังรูปที่ 3.10 และสั่งให้พล็อต HGL ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.11

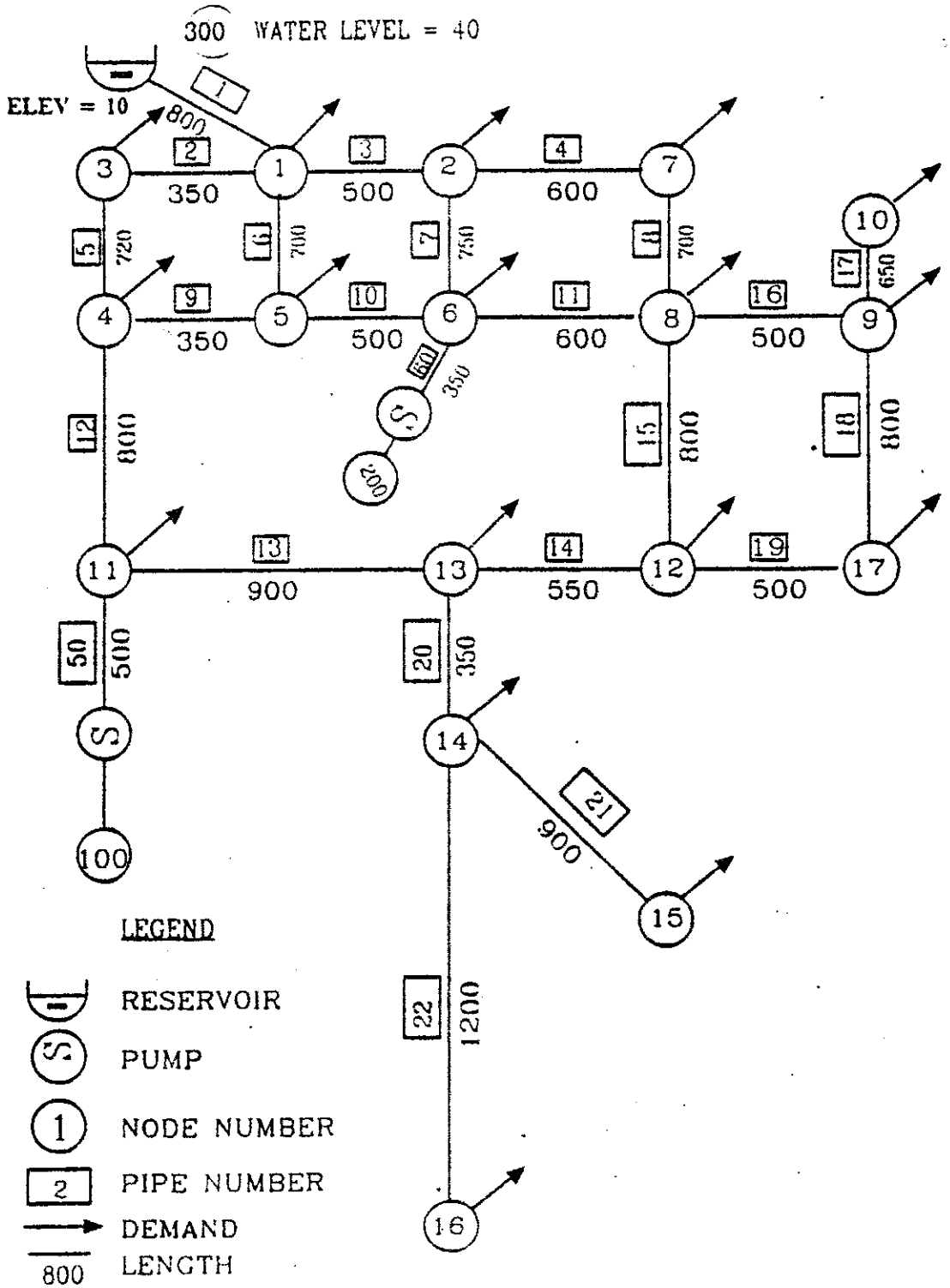


FIGURE 3.7

DEMO WATER DISTRIBUTION NETWORK

LOOP Version 4.0 Input Data File : DEMO.LOP

Title of the Project : Loop Design Sample
Name of the User : Sumito

Number of Pipes : 24
Number of Nodes : 20

Type of Pipe Materials Used : CI/
Number of Commercial Dia per Material : 6/

Peak Design Factor : 2
Newton-Raphson Stopping Criterion lps : .001
Minimum Pressure m : 7
Maximum Pressure m : 30
Design Hydraulic Gradient m in km : 5
Simulate or Design? (S/D) : S

No. of Res. Nodes with Fixed HGL : 1
No. of Res. Nodes with Variable HGL : 0
No. of Booster Pumps : 0
No. of Pressure Reducing Valves : 0
No. of Check Valves : 0
Type of Formula : Hazen's

Pipe Data

Pipe No.	From Node	To Node	Length m	Diameter mm	Hazen's Const	Pipe Material	Status (E/P)
1	300	1	800.00	200.0	110.00000	CI	
2	1	3	350.00	100.0	110.00000	CI	
3	1	2	500.00	150.0	110.00000	CI	
4	2	7	600.00	75.0	110.00000	CI	
5	3	4	720.00	75.0	110.00000	CI	
6	1	5	700.00	100.0	110.00000	CI	
7	2	6	750.00	50.0	110.00000	CI	
8	7	8	700.00	50.0	110.00000	CI	
9	5	4	350.00	100.0	110.00000	CI	
10	6	5	500.00	100.0	110.00000	CI	
11	6	8	600.00	150.0	110.00000	CI	
12	4	11	800.00	75.0	110.00000	CI	
13	11	13	900.00	150.0	110.00000	CI	
14	12	13	550.00	50.0	110.00000	CI	
15	8	12	800.00	100.0	110.00000	CI	
16	8	9	500.00	150.0	110.00000	CI	
17	9	10	650.00	100.0	110.00000	CI	
18	9	17	800.00	75.0	110.00000	CI	

LOOP Looped Water Distribution Network Design Program (C) The World Bank/UNDP

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับ LOOP 4.0

LOOP Version 4.0 Input Data File : DEMO.LOP

Pipe Data

Pipe No.	From Node	To Node	Length m	Diameter mm	Hazen's Const	Pipe Material	Status (E/P)
19	12	17	500.00	75.0	140.00000	CI	
20	13	14	350.00	150.0	110.00000	CI	
21	14	15	900.00	100.0	110.00000	CI	
22	14	16	1200.00	100.0	110.00000	CI	
50	100	11	500.00	150.0	110.00000	CI	
60	200	6	350.00	200.0	110.00000	CI	

Node Data

Node No.	Peak	Flow lps	Elevation m	Min Press m	Max Press m
1	2.00	-2.600	15.00	7.00	30.00
2	2.00	-3.400	15.00	7.00	30.00
3	2.00	-1.500	15.00	7.00	30.00
4	2.00	-1.300	15.00	7.00	30.00
5	2.00	-1.200	15.00	7.00	30.00
6	2.00	-1.500	15.00	7.00	30.00
7	2.00	-1.200	15.00	7.00	30.00
8	2.00	-1.300	15.00	7.00	30.00
9	2.00	-1.200	10.00	7.00	30.00
10	2.00	-2.600	10.00	7.00	30.00
11	2.00	-1.300	10.00	7.00	30.00
12	2.00	-1.400	10.00	7.00	30.00
13	2.00	-1.500	10.00	7.00	30.00
14	2.00	-1.800	10.00	7.00	30.00
15	2.00	-1.600	10.00	7.00	30.00
16	2.00	-2.100	10.00	7.00	30.00
17	2.00	-1.300	10.00	7.00	30.00
300	2.00	0.000	10.00	7.00	30.00
100	2.00	15.000	10.00	7.00	30.00
200	2.00	20.000	10.00	7.00	30.00

Fixed Head Reservoir Data

Source Node	Head m	Ref Res? (R)
300	40.00	R

LOOP: Looped Water Distribution Design Program - (C) The World Bank/UNDP

รูปที่ 3.8 (ต่อ) ตัวอย่างการป้อนข้อมูลสำหรับ LOOP 4.0

LOOP Version 4.0 Input Data File: DEMO.LOP

Commercial Diameter Data

Pipe Dia. Int. (mm)	Hazen's Const	Unit Cost Rs /m length	Allow Press m	Pipe Material
50.0	110.00000	10.00	100.00	CI
75.0	110.00000	20.00	100.00	CI
100.0	110.00000	30.00	100.00	CI
150.0	110.00000	40.00	100.00	CI
200.0	110.00000	50.00	100.00	CI
250.0	110.00000	60.00	100.00	CI

รูปที่ 3.8 (ต่อ)

Output Data File : DEMO.OUT 10 August 1991

Echoing input Design Variables

Title of the Project	: Loop Design Sample
Name of the User	: Sumito
Number of Pipes	: 24
Number of Nodes	: 20
Type of Pipe Materials Used	: Cl/
Number of Commercial Dia per Material	: 6/
Peak Design Factor	: 2
Newton-Raphson Stopping Criterion lps	: .001
Minimum Pressure m	: 7
Maximum Pressure m	: 30
Design Hydraulic Gradient m in km	: 5
Simulate or Design? (S/D)	: S
No. of Res. Nodes with Fixed HGL	: 1
No. of Res. Nodes with Variable HGL	: 0
No. of Booster Pumps	: 0
No. of Pressure Reducing Valves	: 0
No. of Check Valves	: 0
Type of Formula	: Hazen's

Looped Water Distribution Network Design OutPut

BandWidth	=	3
Number of Loops	=	5
Newton Raphson Iterations	=	6

Pipe Details

Pipe No.	From Node	To Node	Flow (lps)	Dia (mm)	HL (m)	HL/1000m (m)	Length (m)	Velocity (m/s)
1	300	1	22.600	200.0	3.22	4.02	800.00	0.72
2	1	3	4.245	100.0	1.86	5.32	350.00	0.54
3	1	2	9.621	150.0	1.68	3.36	500.00	0.54
4	2	7	2.586	75.0	5.17	8.62	600.00	0.59
5	3	4	1.245	75.0	1.60	2.23	720.00	0.28
6	1	5	3.534	100.0	2.65	3.79	700.00	0.45
7	2	6	0.234	50.0	0.55	0.73	750.00	0.12
8	7	8	0.186	50.0	0.33	0.48	700.00	0.09
9	5	4	2.715	100.0	0.81	2.32	350.00	0.35
10	6	5	1.580	100.0	0.43	0.85	500.00	0.20

LOOP Looped Water Distribution Design Program - (C) The World Bank, UNDP

รูปที่ 3.9 Output Data File (DEMO. OUT)

Output Data File : DEMO.OUT 10 August 1991

Pipe Details cont'd

Pipe No.	From Node	To Node	Flow (lps)	Dia (mm)	HL (m)	HL/1000m (m)	Length (m)	Velocity (m/s)
11	6	8	15.654	150.0	4.96	8.27	600.00	0.89
12	4	11	1.360	75.0	2.10	2.62	800.00	0.31
13	11	13	13.760	150.0	5.86	6.51	900.00	0.78
14	12	13	0.240	50.0	0.42	0.76	550.00	0.12
15	8	12	4.004	100.0	3.82	4.77	800.00	0.51
16	8	9	9.236	150.0	1.56	3.11	500.00	0.52
17	9	10	5.200	100.0	5.03	7.74	650.00	0.66
18	9	17	1.636	75.0	2.95	3.69	800.00	0.37
19	12	17	0.964	75.0	0.69	1.39	500.00	0.22
20	13	14	11.000	150.0	1.51	4.30	350.00	0.62
21	14	15	3.200	100.0	2.84	3.15	900.00	0.41
22	14	16	4.200	100.0	6.26	5.21	1200.00	0.53
50	100	11	15.000	150.0	3.82	7.64	500.00	0.85
60	200	6	20.000	200.0	1.12	3.21	350.00	0.64

Pipe Pressure Details

Pipe No.	From Node	To Node	Dia (mm)	Hazen's Const	Pipe Material	Max Press (m)	Allow Press (m)	Status (E/P)
1	300	1	200.0	110.00000	CI	30.00	100.00	
2	1	3	100.0	110.00000	CI	21.78	100.00	
3	1	2	150.0	110.00000	CI	21.78	100.00	
4	2	7	75.0	110.00000	CI	20.10	100.00	
5	3	4	75.0	110.00000	CI	19.92	100.00	
6	1	5	100.0	110.00000	CI	21.78	100.00	
7	2	6	50.0	110.00000	CI	20.10	100.00	
8	7	8	50.0	110.00000	CI	14.93	100.00	
9	5	4	100.0	110.00000	CI	19.13	100.00	
10	6	5	100.0	110.00000	CI	19.56	100.00	
11	6	8	150.0	110.00000	CI	19.56	100.00	
12	4	11	75.0	110.00000	CI	21.22	100.00	
13	11	13	150.0	110.00000	CI	21.22	100.00	
14	12	13	50.0	110.00000	CI	15.78	100.00	
15	8	12	100.0	110.00000	CI	15.78	100.00	
16	8	9	150.0	110.00000	CI	18.04	100.00	
17	9	10	100.0	110.00000	CI	18.04	100.00	
18	9	17	75.0	110.00000	CI	18.04	100.00	
19	12	17	75.0	110.00000	CI	15.78	100.00	
20	13	14	150.0	110.00000	CI	15.36	100.00	
21	14	15	100.0	110.00000	CI	13.85	100.00	

LOOP: Looped Water Distribution Design Program - (C) The World Bank/UNDP

รูปที่ 3.9 (ต่อ)

Pipe Pressure Details cont'd

Pipe No.	From Node	To Node	Dia (mm)	Hazen's Const	Pipe Material	Max Press (m)	Allow Press (m)	Status (E/P)
22	14	16	100.0	110.00000	CI	13.85	100.00	
50	100	11	150.0	110.00000	CI	25.04	100.00	
60	200	6	200.0	110.00000	CI	25.68	100.00	

Node Details

Node No.	Flow (lps)	Elev. (m)	H G L (m)	Pressure (m)
1	-5.200	15.00	36.78	21.78
2	-6.800	15.00	35.10	20.10
3	-3.000	15.00	34.92	19.92
4	-2.600	15.00	33.32	18.32
5	-2.400	15.00	34.13	19.13
6	-3.000	15.00	34.56	19.56
7	-2.400	15.00	29.93	14.93
8	-2.600	15.00	29.60	14.60
9	-2.400	10.00	28.04	18.04
10	-5.200	10.00	23.01	13.01
11	-2.600	10.00	31.22	21.22
12	-2.800	10.00	25.78	15.78
13	-3.000	10.00	25.36	15.36
14	-3.600	10.00	23.85	13.85
15	-3.200	10.00	21.02	11.02
16	-4.200	10.00	17.60	7.60
17	-2.600	10.00	25.09	15.09
300 S	22.600	10.00	40.00	30.00
100	15.000	10.00	35.04	25.04
200	20.000	10.00	35.68	25.68

Pipe Cost Summary

Diameter (mm)	Pipe Material	Length (m)	Cost (1000 Rs)	Cum. Cost (1000 Rs)
50.0	CI	2000.00	20.00	20.00
75.0	CI	3420.00	68.40	88.40

รูปที่ 3.9 (ต่อ)

LOOP: Looped Water Distribution Design Program - (C) The World Bank/UNDP
Output Data File : DEMO.OUT 10 August 1991

Pipe Cost Summary cont'd

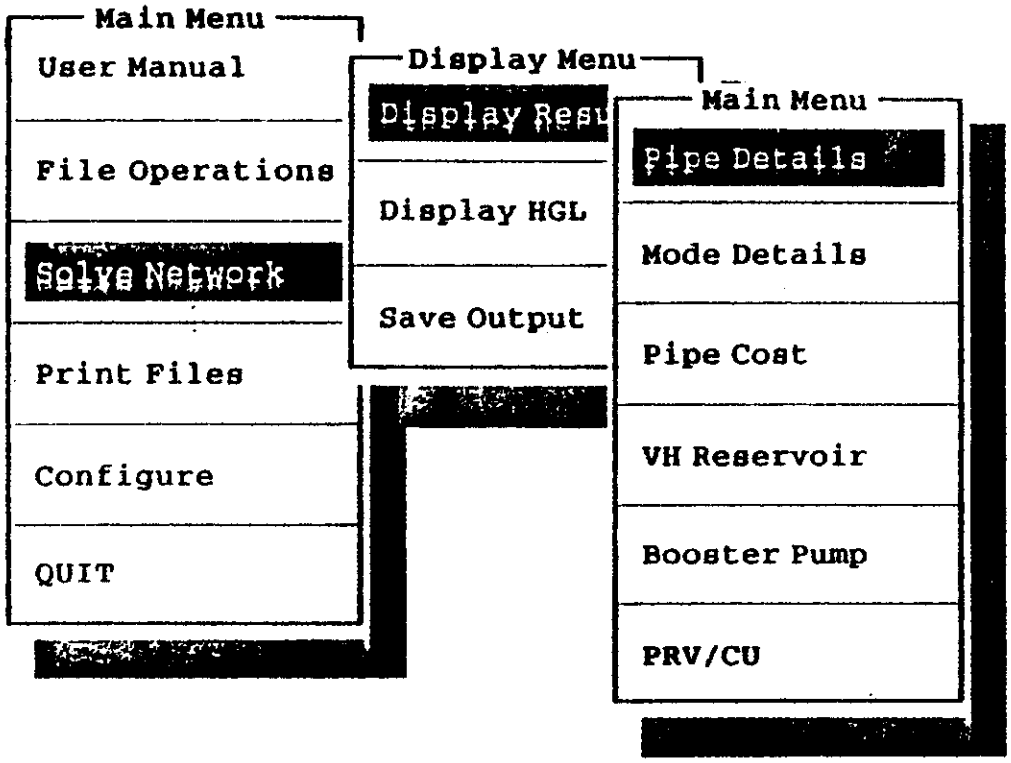
Diameter (mm)	Pipe Material	Length (m)	Cost (1000 Rs)	Cum. Cost (1000 Rs)
100.0	CI	5450.00	163.50	251.90
150.0	CI	3350.00	134.00	385.90
200.0	CI	1150.00	57.50	443.40

Pipe-wise Cost Summary

Pipe No	Diameter (mm)	Pipe Material	Length (m)	Cost (1000 Rs)	Cum. Cost (1000 Rs)
1	200.0	CI	800.00	40.00	40.00
2	100.0	CI	350.00	10.50	50.50
3	150.0	CI	500.00	20.00	70.50
4	75.0	CI	600.00	12.00	82.50
5	75.0	CI	720.00	14.40	96.90
6	100.0	CI	700.00	21.00	117.90
7	50.0	CI	750.00	7.50	125.40
8	50.0	CI	700.00	7.00	132.40
9	100.0	CI	350.00	10.50	142.90
10	100.0	CI	500.00	15.00	157.90
11	150.0	CI	600.00	24.00	181.90
12	75.0	CI	800.00	16.00	197.90
13	150.0	CI	900.00	36.00	233.90
14	50.0	CI	550.00	5.50	239.40
15	100.0	CI	800.00	24.00	263.40
16	150.0	CI	500.00	20,00	283.40
17	100.0	CI	650.00	19.50	302.90
18	75.0	CI	800.00	16.00	318.90
19	75.0	CI	500.00	10.00	328.90
20	150.0	CI	350.00	14.00	342.90
21	100.0	CI	900.00	27.00	369.90
22	100.0	CI	1200.00	36.00	405.90
50	150.0	CI	500.00	20.00	425.90
60	200.0	CI	350.00	17.50	443.40

LOOP: Looped Water Distribution Design Program - (C) The World Bank/UNDP

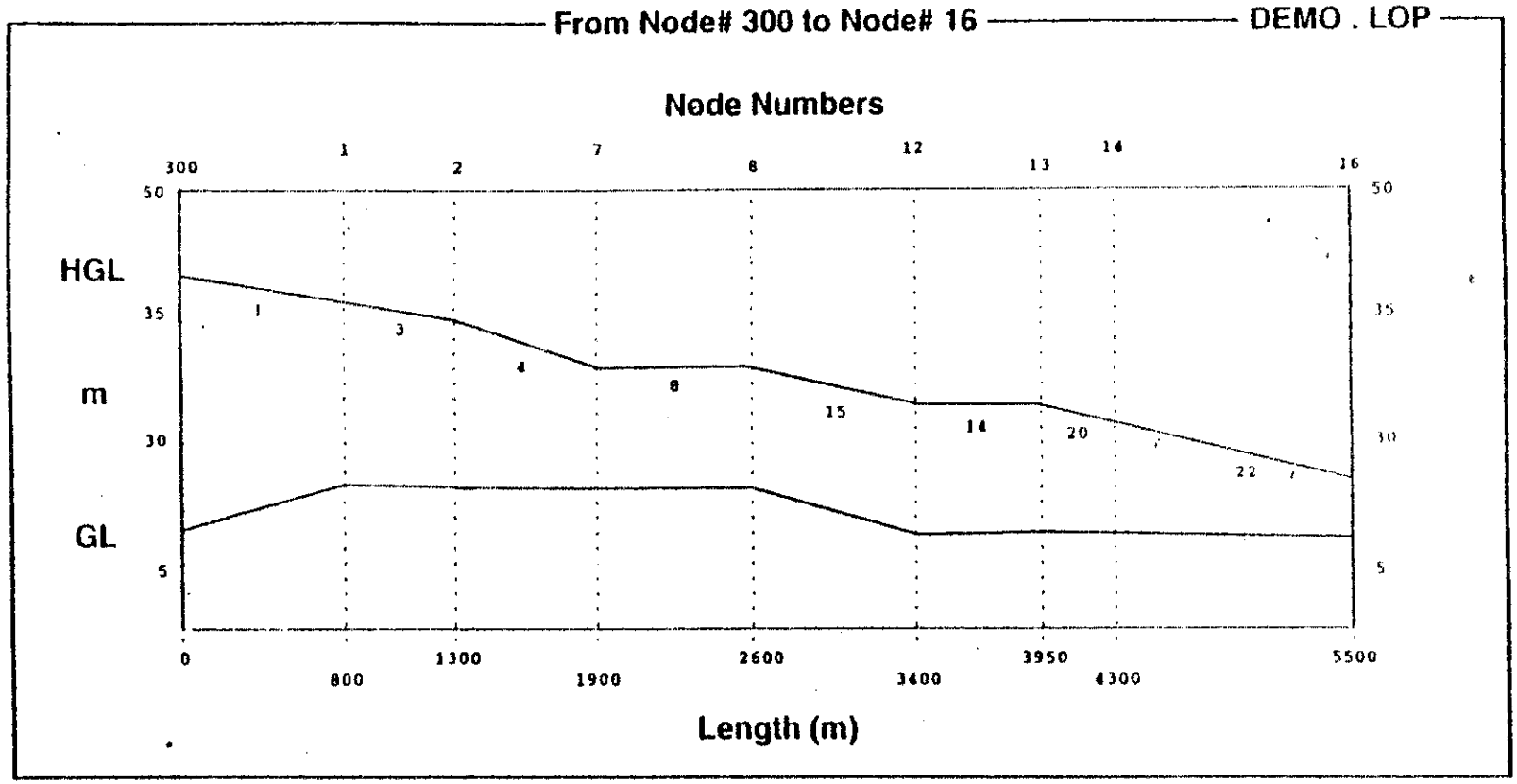
รูปที่ 3.9 (ต่อ)



รูปที่ 3.10 Display Menu

[Esc] the Menu or Use to choose

Display Pipe-wise Flow, Diameter, Head Loss, Velocity etc.



H.G.L. DEMO NETWORK FIGURE 9

รูปที่ 3.11 การพล็อต HGL

3.4 เอกสารอ้างอิง

(1) UNDP/WORLD BANK, A Computer Program in Quick Basic for the Least-Cost Design of Branched Water Distribution Networks, User Instructions, December 1991 (a).

(2) UNDP/WORLD BANK, A Computer Program in Quick Basic for the Heuristic Design of Looped Water Distribution Networks, User Instruction, December 1991 (b).

บทปฏิบัติการที่ 3

การออกแบบระบบท่อส่งน้ำด้วยโปรแกรม BRANCE และ LOOP

Use BRANCH3 to design Water Supply System of KU Village I to meet the Requirements of the foolowing Cases:

Case I Domestic Requirements

Case II Domestic and fire fighting Requirements

Water Use Characteristics

.Annual Average water consumption rate = 600 l/capita.d

.Average no. of person per unit = 5

.Water use fluctuaties characteristics

Flow	% of annual average	
	Range	Typic
Daity average in max.month	110-140	120
Daity average in max.week	120-170	140
Max. day.	160-220	180
Max. hour	225-320	270

.min. residual pressure 10 m.

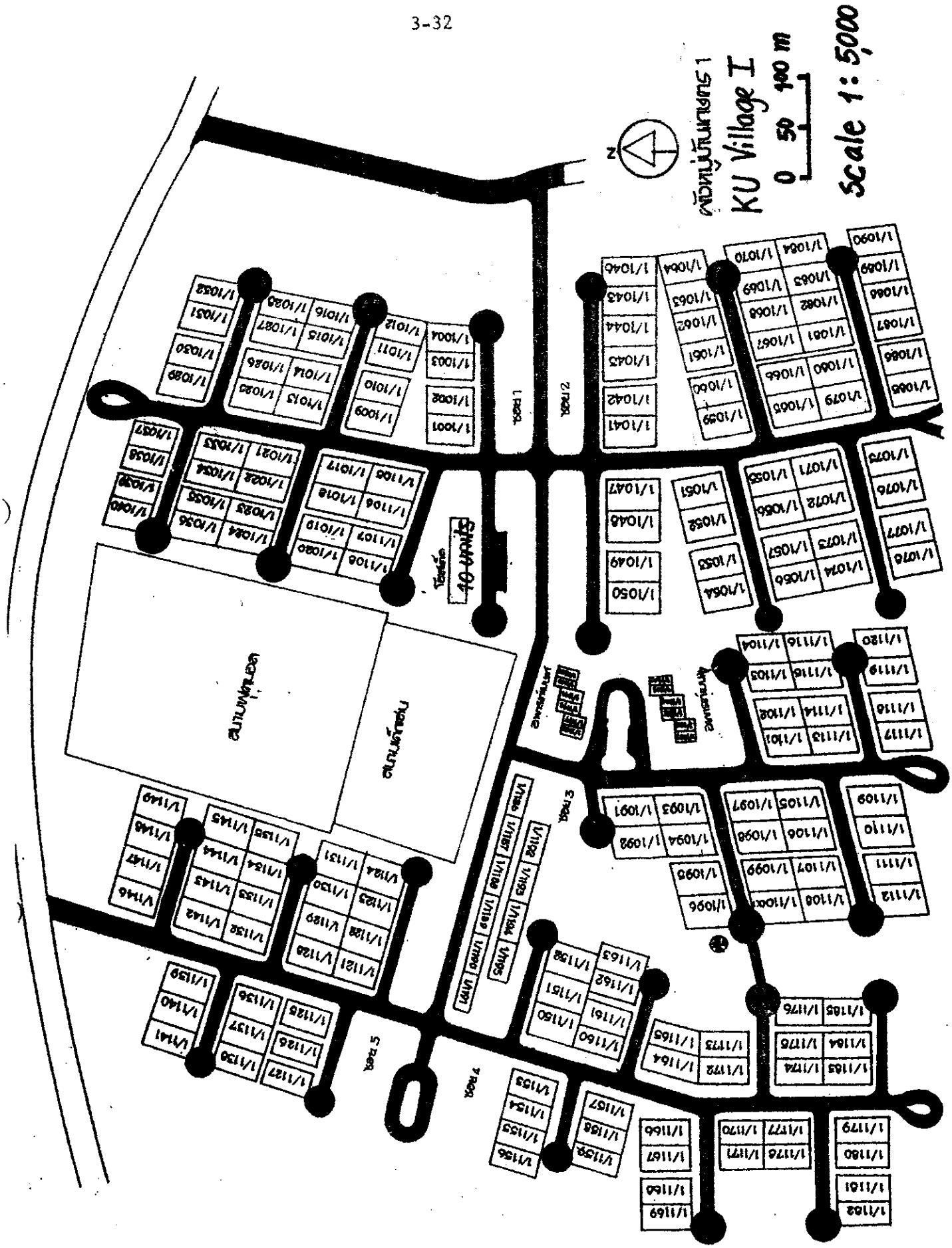
Fire Fighting Requirements

. require one fire fighting hydrant in each Soi

. Q = 125-500 lps per hydrants

. fire fighting hydrant pressure = 60-75 psi

Assume goourd elevation = + 10 m (MSL.)


โครงการ
KU Village I
0 50 100 m
Scale 1: 5,000
N
ถนนรามอินทรา
ซอย 1
ซอย 2
ซอย 3
ซอย 4
ซอย 5
ซอย 40 แยก 1
สนามฟุตบอล
สนามเด็กเล่น

ราคาขายทั่วไป อุปกรณ์พีวีซี. "ตราช้าง" (ชนิดฉีดด้วยเครื่อง)

ข้อต่อระบายน้ำ (สีฟ้า)

ขนาด มม. (นิ้ว)	ข้อต่อตรงบาง		ข้องอบาง 45°		ข้องอบาง 90°		สามตาฉากบาง		สามตาวาย 45°		สามตาทีวาย 90°	
	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*
35 (1-1/4)	60	4.67	70	4.67	70	5.23						
40 (1-1/2)	50	5.04	50	6.26	50	6.80	40	11.68				
55 (2)	60	7.00	70	9.85	70	10.84	50	14.48	15	32.14	15	31.58
65 (2-1/2)	20	13.45	25	17.58	25	17.75	20	24.39*	15	59.34	15	67.38
80 (3)	45	21.56	25	26.44	20	32.61	15	36.91	12	78.13	10	86.91
100 (4)	20	30.56	12	66.88	10	66.88	5	86.82	5	150.46	4	103.55
125 (5)	4	98.13	*									
150 (6)	4	103.55	10	121.49			1	409.34			4	420.56

ข้อต่อระบายน้ำ (สีฟ้า)

ขนาด มม. (นิ้ว)	ข้อต่อตรงบางลด		สามตาบางลด		สามตาวาย 45°ลด		สามตาทีวาย 90°ลด	
	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*
40X35 (1-1/2X1-1/4)	40	6.35						
55X35 (2X1-1/4)	40	10.46						
55X40 (2X1-1/2)	30	10.74	25	19.99				
65X40 (2-1/2X1-1/2)	40	15.09			10	65.42		
65X55 (2-1/2X2)	40	17.14	20	24.39				
80X40 (3X1-1/2)	20	21.58	20	35.23				
80X55 (3X2)	20	23.55	20	41.77				
80X65 (3X2-1/2)	20	25.23						
100X40 (4X1-1/2)	10	37.75						
100X55 (4X2)	8	37.75	10	98.13			8	140.18
100X65 (4X2-1/2)	8	40.56						
100X80 (4X3)	8	45.14						167.00
150X80 (6X3)								523.36
150X100 (6X4)							5	569.15

ข้อต่อการเกษตร (สีเทา)

ขนาด มม. (นิ้ว)	รายการเกษตร		สีตาการเกษตร	
	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*
18 (1/2)	120	4.67		
20 (3/4)	80	6.54		
25X18 (1X1/2)			40	6.54
25X20 (1X3/4)			40	6.54
40X18 (1-1/2X1/2)			25	13.08
40X20 (1-1/2X3/4)			25	13.08
40X25 (1-1/2X1)			40	14.01
55X18 (2X1/2)			40	14.67
55X20 (2X3/4)			35	14.67
55X25 (2X1)			35	16.44

ราคาขายทั่วไป อุปกรณ์พีวีซี. "ตราช้าง" ชนิดต่อด้วยแหวนยาง (ไม่รวมแหวนยาง)

ขนาด	แหวนยาง	ข้อต่อตรง SRR				ข้อต่อโค้ง 90°				ข้อต่อโค้ง 45°				ข้อต่อโค้ง 22.5°			
		บานหัว 1 ข้าง		บานหัว 2 ข้าง		บานหัว 1 ข้าง		บานหัว 2 ข้าง		บานหัว 1 ข้าง		บานหัว 2 ข้าง		บานหัว 1 ข้าง		บานหัว 2 ข้าง	
มม.(นิ้ว)		ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5
100 (4)	50.00	149.53	196.26	202.33	261.21	249.06	325.13	336.54	435.32	175.23	227.10	232.71	316.82	175.23		232.71	316.82
150 (6)	56.00				535.04	765.04	1,020.56	928.03	1,231.66		653.66		864.48	485.98		628.97	854.48
200 (8)	75.00					1,716.87	2,553.71	1,942.93	2,804.87	1,054.20	1,572.42	1,280.37	1,923.36	1,054.20		1,280.37	1,536.44
250 (10)	95.00					3,022.53	5,416.22		6,043.92	1,928.50	2,910.74		3,536.44	1,928.50			
300 (12)	250.00										5,185.51						

หมายเหตุ 1. * หน่วยบรรจุ-ชิ้น/กล่อง
หน่วยราคา-บาท/ชิ้น
2. ราคาทั้งหมดนี้เป็นราคาที่ส่งมอบ ณ.โรงงาน และไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
(ราคานี้อาจเปลี่ยนแปลงได้)

ใช้เมื่อ วันที่ 27 มกราคม 2535

บริษัท สยามอุตสาหกรรมท่อ จำกัด
1 ถนนปูนซิเมนต์ไทย บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร. (02) 586-3930-5
โทรสาร (02) 586-4305

ผลิตภัณฑ์คุณภาพเยี่ยมจากเครือซิเมนต์ไทย

ราคาขายทั่วไป อุปกรณ์พีวีซี. "ตราช้าง" (ชนิดฉีดด้วยเครื่อง)

ข้อต่อรับความดัน (สีฟ้า)

ขนาด	ข้อต่อตรง		ข้อต่อตรงเกลียวใน		ข้อต่อตรงเกลียวนอก		สามตาฉาก		ข้องอฉาก		ข้องอเกลียวใน		หัวอุด	
มม. (นิ้ว)	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*
18 (1/2)	100	2.71	100	2.80	120	2.42	50	4.48	100	3.27	100	5.14	200	2.80
20 (3/4)	90	3.45	90	4.11	100	3.45	90	6.16	125	4.39	60	8.03	150	4.11
25 (1)	90	5.70	50	6.91	50	5.14	20	11.68	60	7.94			80	6.16
35 (1-1/4)	30	8.50	30	11.30	40	9.25	20	16.63	20	13.64			40	9.25
40 (1-1/2)	40	10.93	20	16.16	40	11.30	20	24.01	25	17.10			30	13.64
55 (2)	50	17.10	25	26.07	35	16.16	10	37.47	30	25.88			20	20.37
65 (2-1/2)	10	28.13	15	39.06	15	32.61	10	82.05	6	54.67			20	39.06
80 (3)	20	46.72	10	62.05	10	43.27	9	146.72	5	76.63			5	54.20
100 (4)	8	84.11	4	93.45	4	87.10	4	317.75	5	149.53			5	102.80

ข้อต่อรับความดัน (สีฟ้า)

ขนาด มม. (นิ้ว)	ข้อต่อตรงลด		สามตาฉากลด	
	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*
20X18 (3/4X1/2)	80	3.45	40	9.25
25X18 (1X1/2)	70	5.70	50	14.48
25X20 (1X3/4)	70	5.70	50	14.48
35X20 (1-1/4X3/4)	20	9.25		
35X25 (1-1/4X1)	20	9.25		
40X18 (1-1/2X1/2)	20	10.84	10	27.19
40X20 (1-1/2X3/4)	20	10.84	10	27.19
40X25 (1-1/2X1)	20	10.84	10	27.19
40X35 (1-1/2X1-1/4)	15	10.84		
55X18 (2X1/2)	15	17.28	15	42.61
55X20 (2X3/4)	15	17.28	15	42.61
55X25 (2X1)	15	17.28	10	42.61
55X35 (2X1-1/4)	15	17.28	10	47.38
55X40 (2X1-1/2)	15	17.28	10	47.38

ข้อต่อรับความดัน (สีฟ้า)

ขนาด มม. (นิ้ว)	ข้อต่อตรงลด		สามตาฉากลด	
	บรรจุ*	ราคา*	บรรจุ*	ราคา*
65X20 (2-1/2X3/4)	15	31.77	10	82.05
65X25 (2-1/2X1)	15	31.77	20	82.05
65X40 (2-1/2X1-1/2)	15	31.77	15	82.05
65X55 (2-1/2X2)	10	31.77	6	82.05
80X25 (3X1)			15	96.26
80X35 (3X1-1/4)	10	60.74		
80X40 (3X1-1/2)	10	60.74	10	146.72
80X55 (3X2)	10	60.74	10	146.72
80X65 (3X2-1/2)	10	60.74	10	146.72
100X20 (4X3/4)			6	317.75
100X25 (4X1)			6	317.75
100X40 (4X1-1/2)	12	85.04	5	317.75
100X55 (4X2)	12	85.04	5	317.75
100X65 (4X2-1/2)	12	85.04		
100X80 (4X3)	4	85.04	5	317.75

หมายเหตุ 1. * หน่วยบรรจุ-ชิ้น/กล่อง
หน่วยราคา-บาท/ชิ้น
2. ราคาทั้งหมดนี้เป็นราคาที่ส่งมอบ ณ.โรงงาน และไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
(ราคานี้อาจเปลี่ยนแปลงได้)

เริ่มใช้เมื่อ วันที่ 27 มกราคม 2535

บริษัท สยามอุตสาหกรรมท่อ จำกัด
1 ถนนปูนซิเมนต์ไทย บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร. (02) 586-3930-5
โทรสาร (02) 586-4305

ผลิตภัณฑ์คุณภาพเยี่ยมจากเครือซิเมนต์ไทย

ราคาขายทั่วไป อุปกรณ์พีวีซี. "ตราช้าง" (ชนิดทำจากท่อแบบมาตรฐาน)

ข้อต่อรับความดัน (สีฟ้า)

ขนาด มม. (นิ้ว)	ข้อโค้ง 45°* ชั้น 8.5	ข้อโค้ง 45°* ชั้น 13.5	ข้อโค้ง 90°* ชั้น 8.5	ข้อโค้ง 90°* ชั้น 13.5	ข้อต่อตรง * ชั้น 8.5	ข้อต่อตรง * ชั้น 13.5	ท่อสิ้นหน้าจาน * ชั้น 8.5	ท่อสิ้นหน้าจาน * ชั้น 13.5
18 (1/2)	5.32		5.32					
20 (3/4)	6.82		7.10					
25 (1)	10.28		10.28					
35 (1-1/4)	14.57		17.75					
40 (1-1/2)	19.62		22.99	24.67				
55 (2)	33.92	44.71	41.58	51.72				
65 (2-1/2)	59.81	92.52	76.63	116.82				
80 (3)	86.91	126.10	112.14	160.74	39.06			
100 (4)	147.66	233.64	228.03	300.93	70.37			
125 (5)	398.13	432.71	432.71	534.57	130.84	194.39		
150 (6)	680.37	747.66	777.57	942.99	224.29	340.18	1,148.00	1,442.99
200 (8)	1,515.88		2,332.71	2,405.60	504.67	811.21	1,620.00	2,006.54
250 (10)	1,904.67		2,915.88		971.96	1,205.60		
300 (12)	3,576.63		5,039.25		1,364.48	2,031.77		

ข้อต่อรับความดัน (สีฟ้า)

ขนาด มม. (นิ้ว)	ข้อต่อตรงลด * ชั้น 8.5	ข้อต่อตรงลด * ชั้น 13.5
125X80 (5X3)	168.22	246.00
125X100 (5X4)	168.22	250.00
125X100 (6X4)	233.64	340.18

ราคาขายทั่วไป น้ำยาเชื่อมท่อพีวีซี.

ชื่อสินค้า	ขนาดบรรจุ		จำนวนบรรจุ/ลัง	ราคาขายทั่วไป
น้ำยาเชื่อมท่อพีวีซี. "ตราช้าง"	กระป๋อง	1,000 กรัม	8 กระป๋อง	203.00
	กระป๋อง	500 กรัม	12 กระป๋อง	119.00
	กระป๋อง	250 กรัม	24 กระป๋อง	66.00
	หลอด	125 กรัม	30 หลอด	47.50
น้ำยาเชื่อมท่อพีวีซี. "ตราพระอาทิตย์"	กระป๋อง	1,000 กรัม	8 กระป๋อง	112.00
	กระป๋อง	500 กรัม	12 กระป๋อง	60.00
	กระป๋อง	250 กรัม	24 กระป๋อง	33.00
	กระป๋อง	100 กรัม	24 กระป๋อง	13.50
น้ำยาทำความสะอาดท่อพีวีซี. "ตราช้าง"	กระป๋อง	1 ลิตร	-	109.00

หมายเหตุ 1. * สินค้าสั่งจองล่วงหน้า

2. ราคาทั้งหมดนี้เป็นราคาที่ส่งมอบ ณ.โรงงาน และไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม (ราคานี้อาจเปลี่ยนแปลงได้)

เริ่มใช้เมื่อ วันที่ 27 มกราคม 2535

บริษัท สยามอุตสาหกรรมท่อ จำกัด
1 ถนนปูนซิเมนต์ไทย บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร. (02) 586-3930-5
โทรสาร (02) 586-4305

ผลิตภัณฑ์คุณภาพเยี่ยมจากเครือซิเมนต์ไทย

ราคาขายทั่วไป ท่อ พีวีซี. "ตราช้าง"
ท่อปลายเรียบ, ท่อบานหัว (สีฟ้าและสีเทา) และท่อชนิดต่อด้วยแหวนยาง

ขนาด	ท่อปลายเรียบ			ท่อบานหัว*			#ท่อชนิดต่อด้วยแหวนยาง* (ไม่รวมแหวนยาง)	
มม. (นิ้ว)	ชั้น 5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5	ชั้น 8.5	ชั้น 13.5
10 (1/4)	**17.28							
15 (3/8)	**21.96							
18 (1/2)	**29.67	40.42	49.53	**31.07	41.82	50.93		
20 (3/4)	**36.91	49.53	59.81	**38.31	50.93	61.21		
25 (1)	**50.93	68.42	94.39	**53.73	68.22	97.19		
35 (1-1/4)	61.68	81.30	123.36	64.48	84.11	126.16		
40 (1-1/2)	74.76	100.54	158.87	78.50	110.28	162.61		
55 (2)	112.14	166.22	242.89	116.35	172.42	247.19		
65 (2-1/2)	182.24	266.35	401.86	187.85	271.96	407.47		
80 (3)	247.66	369.15	560.74	254.67	376.16	567.75		
100 (4)	397.19	598.13	901.86	405.60	606.54	910.28	954.67	1,442.52
125 (5)	607.47	901.86	1,359.81	618.69	913.08	1,371.02		
150 (6)	845.79	1,266.35	1,915.68	871.96	1,292.52	1,942.05	2,042.52	3,075.23
200 (8)	1,266.35	2,037.38	3,257.00	1,316.82	2,087.85	3,307.47	3,282.24	5,230.44
*250 (10)	1,622.42	2,948.59	4,901.86	1,694.39	3,020.56	4,973.83	4,819.02	7,970.50
*300 (12)	2,556.07	4,155.67	6,948.59	2,657.00	4,259.81	7,049.53	6,863.55	11,414.95
*400 (16)		**7,009.34			**7,153.27			

ท่อร้อยสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ (สีเหลือง) และท่อการเกษตร

ขนาด	ท่อร้อยสายไฟฟ้า (ชั้น 1)		#ท่อร้อยสายโทรศัพท์* (บานหัว 1 ข้าง)		ท่อเกษตร	
มม. (นิ้ว)	ปลายเรียบ	บานหัว*	ชั้น 2	ชั้น 3	ปลายเรียบ	บานหัว*
15 (3/8)	35.51	36.91				
18 (1/2)	42.52	43.92			24.62	26.02
20 (3/4)	51.40	52.80			31.82	33.22
25 (1)	97.19	100.00			42.61	45.46
35 (1-1/4)	140.16	142.99			56.91	59.71
40 (1-1/2)	183.17	186.91			65.42	69.15
55 (2)	257.94	262.61			94.53	98.73
65 (2-1/2)	331.77	337.38			148.17	153.78
80 (3)	527.10	534.57	556.26	372.89	220.79	227.80
100 (4)	801.86	810.28	963.55	572.89	356.21	364.62

หมายเหตุ 1. * สินค้าสั่งจองล่วงหน้า
2. **ท่อสีเทามาตรฐาน บภก.
3. ท่อทุกท่อนมีความยาวมาตรฐาน 4 เมตร
(ยกเว้น # เป็นท่อที่มีความยาวมาตรฐาน 6 เมตร)
4. ราคาทั้งหมดนี้เป็นราคาที่ส่งมอบ ณ.โรงงาน และไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
(ราคานี้อาจเปลี่ยนแปลงได้)

เริ่มใช้เมื่อ วันที่ 27 มกราคม 2535

บริษัท สยามอุตสาหกรรมท่อ จำกัด
1 ถนนปูนซิเมนต์ไทย บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร. (02) 586-3930-5
โทรสาร (02) 586-4305

ผลิตภัณฑ์คุณภาพเยี่ยมจากเครือซิเมนต์ไทย

บทที่ 4

การวิเคราะห์ Flood Hydrograph ด้วย HEC-1

(HEC-1 - Flood Hydrograph Package)

4.1 บทนำ

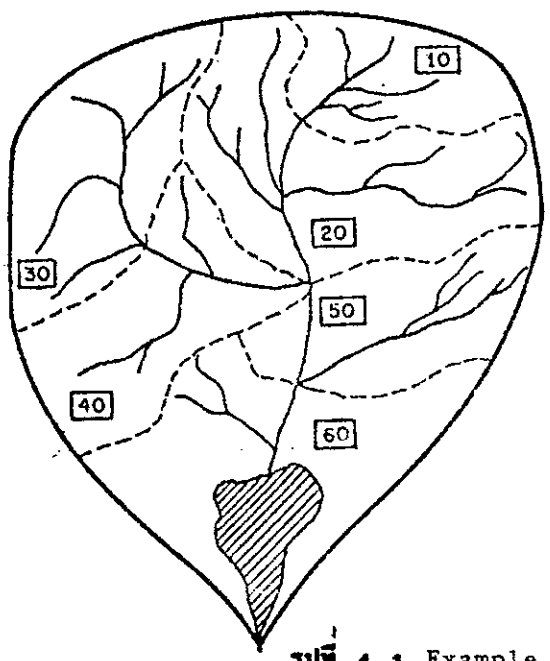
HEC 1 ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่าอันเนื่องมาจากฝนที่ตกลงในลุ่มน้ำ โดยพิจารณาว่าลุ่มน้ำคือระบบที่ต่อเนื่องกันขององค์ประกอบทางอุทกวิทยาและชลศาสตร์ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ได้

องค์ประกอบของลุ่มน้ำได้แก่องค์ประกอบของการเกิดน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) ทางน้ำ อ่างเก็บน้ำหรืออื่น ๆ ในการจำลองจะต้องรู้ถึงคุณสมบัติขององค์ประกอบแต่ละตัว และสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายกระบวนการในการแปลงน้ำฝนเป็นน้ำท่าและการไหลของน้ำผ่านระบบทางน้ำและอ่างเก็บน้ำออกสู่ Outlet ที่ต้องการ ผลการจำลองด้วย HEC 1 จะทำให้ทราบ Flood Hydrograph ที่จุดที่ต้องการ

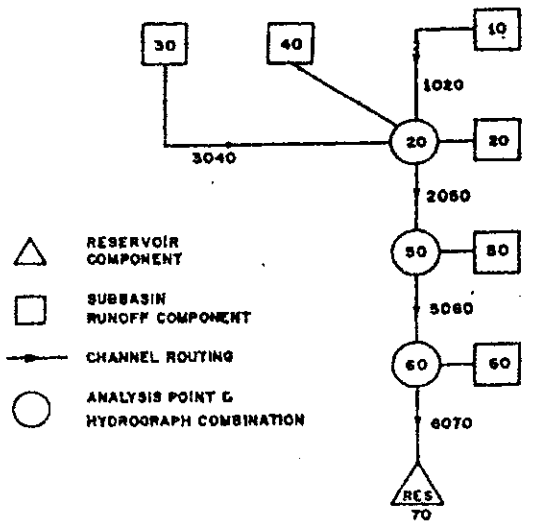
4.2 Model Components

4.2.1 Stream Network Model Development

ลุ่มน้ำสามารถแบ่งออกเป็นลุ่มน้ำย่อยที่ต่อเนื่องกันได้ดังรูปที่ 4.1 และสามารถเขียนเป็น Schematic Diagram ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 Example River Basin



รูปที่ 4.2 Example River Basin Schematic

องค์ประกอบของโมเดลของแต่ละลุ่มน้ำย่อยอาจอยู่ในรูปของกระบวนการเกิดน้ำท่า การ Route น้ำในทางน้ำ ในอ่างเก็บน้ำ การผันน้ำและการสูบน้ำเป็นต้น

4.2.2 Surface Funoff Components

ในส่วนนี้จะแสดงการไหลของน้ำทั้งในรูปของน้ำท่าผิวดินและการไหลในทางน้ำ เช่น Subbasin Runoff Component 10,20,30,.... ในรูปที่ 4.2 Input ที่ต้องการได้แก่ Rainfall Hyetograph และข้อมูลเกี่ยวกับ Infiltration และ Detention losses ที่ใช้ในการหา Excess Rainfall โดยวิธี SCS, Holtan และ Green and Ampt โดยสมมติว่าฝนและการซึมของน้ำลงไปในดินมีค่าสม่ำเสมอทั่วลุ่มน้ำย่อย หลังจากนั้น Excess Rainfall จะถูก Route ด้วยวิธี Unit Hydrograph หรือ Kinematic Wave สู่ Outlet ผลที่ได้คือ Runoff Hydrograph ที่ Outlet ของลุ่มน้ำย่อย

4.2.3 River Routing Components

ส่วนนี้จะแสดงการไหลของ Flood Wave ในทางน้ำ เช่น การ Route เบอร์ 1020, 3040,..... ในรูปที่ 4.2 Input ที่ต้องการคือ Upstream Hydrograph ที่เกิดจากลุ่มน้ำย่อยอันใดอันหนึ่งหรือหลาย ๆ ลุ่มน้ำประกอบกัน และคุณลักษณะของทางน้ำ การวิเคราะห์การไหลของน้ำในทางน้ำใช้วิธี Muskingkum, Muskingkum - Cunge, Modified Puls and Kinematic Wave

4.2.4 Combined Use of River Routing and Subbasin Runoff Components

Combined 4.2.2 และ 4.2.3

4.2.5 Reservoir Component

องค์ประกอบนี้ใช้ในการ Route น้ำผ่านอ่างเก็บน้ำ ตามหลักของ Reservoir Routing

4.2.6 Diversion Component

แสดงการผันน้ำจากจุดหนึ่งในลุ่มน้ำไปยังอีกจุดหนึ่งหรือไปยังลุ่มน้ำอื่น ๆ ข้อมูลที่ต้องการได้แก่ Upstream Inflow เกณฑ์ในการผันน้ำและ Rating Curve

4.2.7 Pump Component

ส่วนที่ใช้จำลองการสูบน้ำโดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับจำนวน Pump ขีดความสามารถในการสูบน้ำ (ขนาด Pump) และระดับต่าง ๆ

4.2.8 Hydrograph Transformation

ใช้วิเคราะห์ Sensitivity ของ Parameter ของ Hydrograph

4.3 ประโยชน์ของ HEC 1

4.3.1 Rainfall - Funoff Simulation

4.3.2 Parameter Calibration

4.3.3 Multiplan - Multiflood Analysis (รูปที่ 4.3)

4.3.4 Dam Safety Analysis

4.3.5 Precipitation Depth - Area Relationship Simulation

4.3.6 Flood Damage Analysis (รูปที่ 4.4)

4.3.7 Flood Control System Optimization

4.4 การป้อนข้อมูล

การป้อนข้อมูลใน HEC-1 จะต้องใช้ตัวอักษร 2 ตัว เป็นตัวบอกโปรแกรม HEC-1 ว่าข้อมูลต่อไปคืออะไร มี FORMAT อย่างไร ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ตัวอักษร 2 ตัวที่ใช้ระบุประเภทข้อมูลใน HEC-1 แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- Job Control
- Hydrology & Hydraulics
- Economics & End of Job

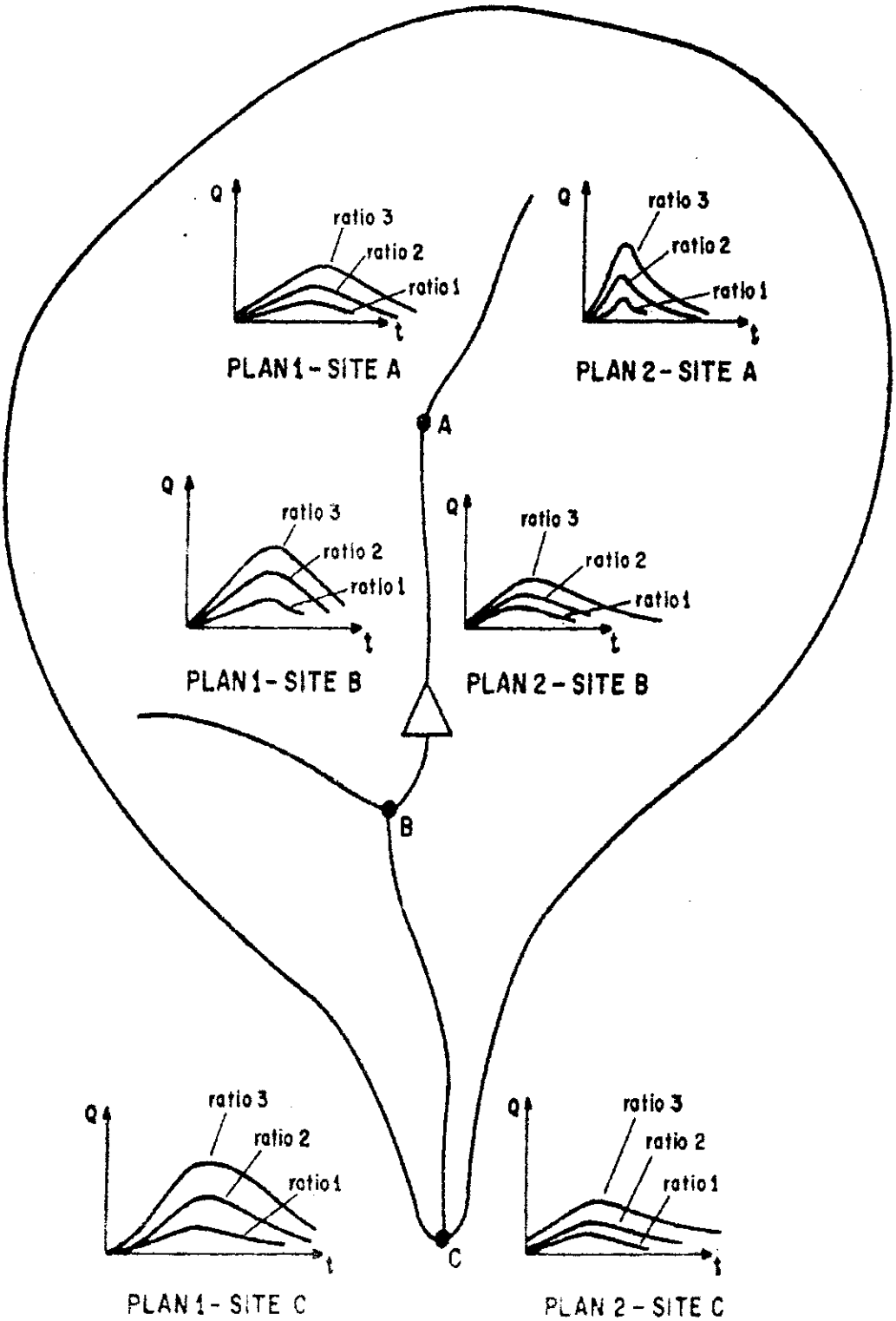
ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ตัวอย่างรูปแบบการป้อนข้อมูลเพื่อการจำลองทางอุทกวิทยาและชลศาสตร์ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.5 ดูรายละเอียดใน HEC (1990)

4.5 ตัวอย่างการหา Flood Hydrograph ด้วย HEC-1

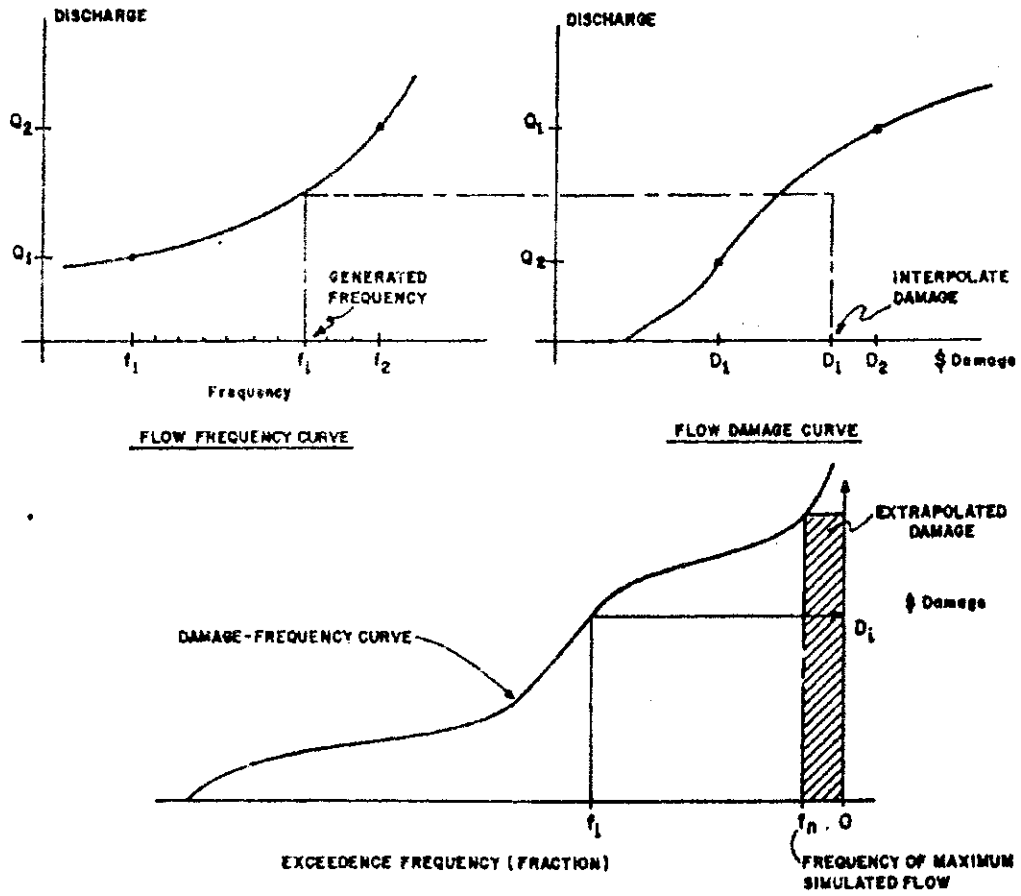
ตัวอย่างการวิเคราะห์หา Flood Hydrograph ด้วย HEC-1 แสดงอยู่ใน ตัวอย่างที่ 4.1

4.6 เอกสารอ้างอิง

(1) Hydrologic Engineering Center, HEC-1 (Flood Hydrograph Package), User's Manual, US. Army Corps of Engineers, USA, September 1990.



รูปที่ 4.3 Multiflood and Multiplan Hydrographs



รูปที่ 4.4 Damage Frequency Curve

Table 4.1
HEC-1 Input Data Identification Scheme

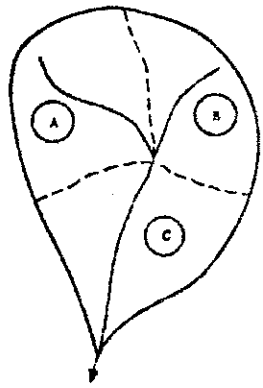
Data Category	Record Identification	Description of Data
Job Initialization	ID	Job IDentification
	IT	Job Time Control
	IM	Metric Units
	IO	General Output Controls
	IN	Time Control for Input Data Arrays
Variable Output Summary	VS	Stations to be summarized
	VV	Variables to be summarized
Optimization	OU	Unit Graph and Loss Rate Controls
	OR	Routing Controls
	OS	Flood Control System Optimization
	OO	System Optimization Objective Function
Job Type	JP	Multi-Plan Data
	JR	Multi-Ratio Data
	JD	Depth-Area Data
Job Step Control	KK	Stream Station Identification
	KM	Alphanumeric Message Record
	KO	Output Control for This Station
	KF	Format for Punched Output
	KP	Plan Number
Hydrograph Transformation	HC	Combine Hydrographs
	HQ/HE	Stage(Elevation)/Discharge Rating Curve
	HL	Local flow computation option
	HS	Initial Storage for Given Reservoir Releases
	HB	Hydrograph Balance Option
Hydrograph Data	QO	Observed Hydrograph
	QI	Direct Input Hydrograph
	QS	Stage Hydrograph
	QP	Pattern Hydrograph
Basin Data	BA	Basin Area
	BF	Base Flow Characteristics
	BR	Retrieve Runoff Data from ATODTA File
	BI	Input Hydrograph from Prior Job
Precipitation Data	PB	Basin-Average Total Precipitation
	PI	Incremental Precipitation Time Series
	PC	Cumulative Precipitation Time Series
	PG	Gage Storm Total Precipitation
	PI/PC	Incremental/Cumulative Precipitation Time Series for Recording Gage
	PR	Recording Gages to be Weighted
	PT	Storm Total Gages to be Weighted
	PW	Weightings for Precipitation Gages
	PH	Hypothetical Storm's Return Period
	PM	Probable Maximum Precipitation Option
	PS	Standard Project Precipitation Option
Loss Rate Data Function	LE	HEC's Exponential Rainfall Loss Rate Function
	LM	HEC's Exponential SnowMelt Function
	LU	Initial and Uniform Rates
	LS	SCS Curve Number
	LH	Holtan's Function
	LG	Green and Ampt Loss Rate
Unit Hydrograph Data	UI	Direct Input Unit Hydrograph
	UC	Clark Unit Hydrograph
	US	Snyder Unit Hydrograph
	UD	SCS Dimensionless Unit Hydrograph
	UA	Time-Area Data
	UK	Kinematic Overland
	RK	Kinematic Wave Channel (collector, main)
	RD	Muskingum-Cunge "Diffusion" channel (collector, main)

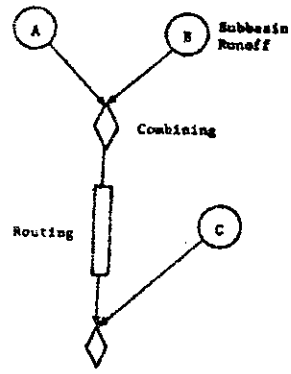
Table 4.1
HEC-1 Input Data Identification Scheme (continued)

Data Category	Record Identification	Description of Data
Melt Data	MA	Zone Area and Snow Content Data
	MC	Melt Coefficient
	MD	Dewpoint Data
	MS	Solar Radiation Data
	MT	Temperature Data
	MW	Wind Data
Routing Data	RN	No Routing for Current Plan
	RL	Channel Loss Rates
	RD	Muskingum-Cunge "Diffusion" channel
	RK	Kinematic Wave Channel
	RM	Muskingum Parameters
	RT	Straddle/Stagger Parameters
	RS	Storage Routing Option, follow with SV and SQ records if Modified Puls is used
	RC	Channel Characteristics for Normal Depth Storage Routing
	RX	Cross-Section X Coordinates
	RY	Cross-Section Y Coordinates
Storage Routing Data	SL	Low-Level Outlet Characteristics
	ST	Top of Dam Characteristics
	SW	Width/Elevation for Non-Level Top of Dam
	SE	Geometry
	SS	Spillway Characteristics
	SGO	Gee or Trapezoidal Spillway Option
	SQ	Discharge/Elevation Tailwater Rating
	SE	Curve for SG record
	SV	Reservoir Volume
	SQ	Discharge,
	SA	Surface Area, and
	SE	Water Surface Elevation Data
	SB	Dam Breach Characteristics
	SO	Optimization Parameters
	SD	Cost $ Function Corresponding to SV Data
Diversion Data	DR	Retrieve Diverted Flow
	DT	Flow Diversion Characteristics
	DI	Variable Diversion Q as Function of Inflow
	DQ	
	DO	Diversion Size Optimization Data
	DD	Cost $ Function for Diversion
Pumping Withdrawal Data	WP	Pump Characteristics
	WR	Pump flow Retrieval
	WO	Pump Size Optimization Data
	WC	Capacity Function for Pump
	WD	Cost $ Function for Pump
Flood Damage Data	EC	Identifies Flood Damage Option
	CN	Damage Category Names
	PN	Plan Names
	WN	Watershed Name
	TN	Township Name
	WT	Watershed and Township Location
	FR	Frequency Data
	QF	Discharges for FR data
For Each Damage Reach	SF	Stages for Rating Curve with QS
	QS	Discharges for SQ data
	SD	Stages for Damage Data, DG
	QD	Discharges for Damage Data, DG
	DG	Damage Data
	EP	End of Plan Identifier
End of Job	ZZ	Required to end job

Table 4.2
Subdivisions of Simulation Data

Job Control	Hydrology & Hydraulics	Economics & End of Job
I _, Job Initialization	K _, Job step control	E _, etc., Economics, data
V _, Variable Output Summary	H _, Hydrograph transformation	ZZ, End of Job
O _, Optimization	Q _, Hydrograph data	
J _, Job Type	B _, Basin data	
	P _, Precipitation data	
	L _, Loss (infiltration) data	
	U _, Unit Graph data	
	M _, Melt data	
	R _, Routing data	
	S _, Storage data	
	D _, Diversion data	
	W _, Pump Withdrawal data	

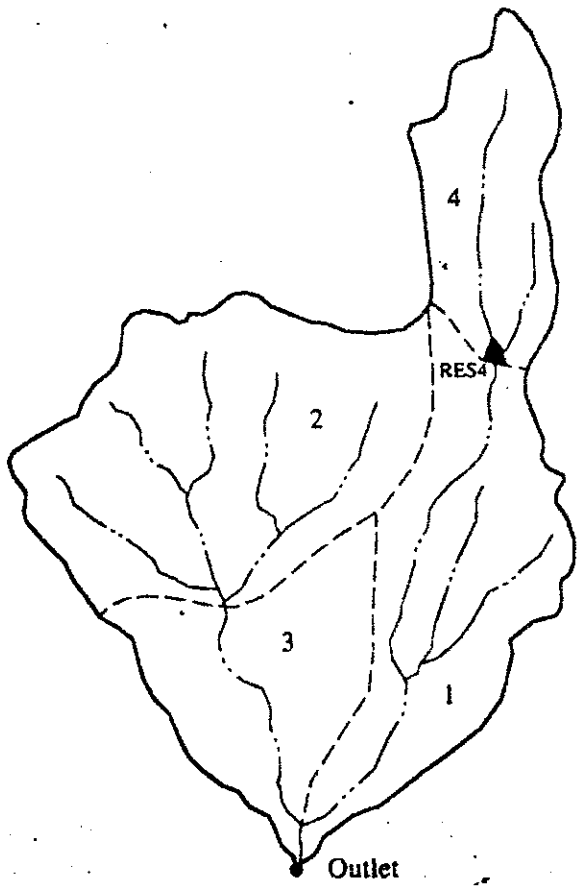




	Card ID	Description
	ID	Title
	IT	Time interval and beginning time
	IO	Output Control option for whole job
	KK	Subbasin A
Runoff	BA	Area
from	BF	Baseflow
Subbasin	P_	Select precipitation method, use IN if necessary
A	L_	Select one loss rate method
	U_	Select one rainfall excess transformation method
	KK	
Subbasin	BA	Similar to above for Subbasin A
runoff B	BF	
	P_,L_,U_	
	KK	Station Name
Combine	KM	Combine runoff from A and B (message option)
A + B	HC	Indicate 2 hydrographs are to be combined
Route	KK	Station name
(A+B)	RL	Channel loss optional
to C	R_	Select one routing method
	KK	
Subbasin	BA	Similar to above for Subbasin A
C runoff	BF	
	P_,L_,U_	
Combine Routed	KK	Station name
(A+B) with C	HC	Indicate 2 hydrographs are to be combined
	KK	
	IN	Compare computed and observed flows
	QO	
	ZZ	

Figure 4.5 Example Input Data Organization for a River Basin

Example 4.1 (Adapted from Ford, 1986.) A rainfall-runoff model using the HEC-1 computer program is to be developed for the Castro Valley Creek catchment, shown in Fig. 4.6 in order to analyze the effects of urbanization. The catchment



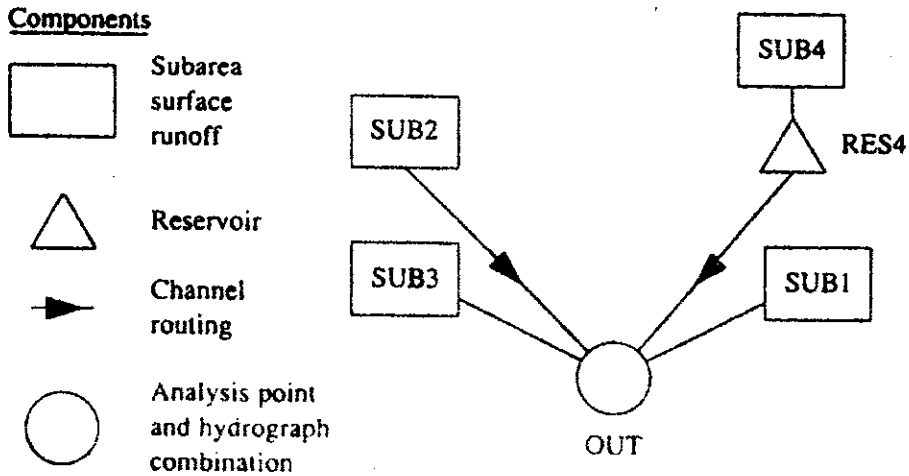


FIGURE 4.6
Schematic diagram of Castro Valley watershed showing components of HEC-1 analysis.

is divided into four subcatchments; a schematic diagram of the watershed is shown in Fig. 4.6 Subcatchment 4 is undergoing urbanization through development of a new residential area, and a detention reservoir in subcatchment 4 and downstream channel modifications are being investigated, the purpose of which is to reduce the effects of the additional flow resulting from the development. The objective of the problem is to calculate the runoff hydrograph at the catchment outlet for three different conditons: (1) the existing condition throughout the catchment, (2) the existing condition in subcatchments 1 to 3 with subcatchment 4 urbanized, and (3) the same as (2) but with a modified channel and a reservoir in subcatchment 4. Subarea runoff computations are performed using Snyder's synthetic unit hydrograph with rainfall loss rates determined using the SCS curve number method, channel routing is carried out by the Muskingum method, and routing through the reservoir by the level-pool method.

The following Table presents the existing characteristics of the subcatchments. The total watershed area is 5.51 mi².

Subcatchment	Area (mi^2)	Watershed length L (mi)	Length to centroid L_{CA} (mi)	SCS curve number CN
1	1.52	2.65	1.40	70
2	2.17	1.85	0.68	84
3	0.96	1.13	0.60	80
4	0.86	1.49	0.79	70

The parameters for Snyder's synthetic unit hydrograph for the existing condition are $C_p = 0.25$ and $C_t = 0.38$. The flood wave travel time (Muskingum coefficient K) for the stream reach passing through subarea 3 is estimated as 0.3 h, and the travel time for subarea 1 is estimated as 0.6 h. The Muskingum X has been approximated as 0.2 for each of the two stream reaches.

The design rainfall is a hypothetical 100-year-return-period storm defined by the following depth-duration data.

Duration	5 min	15 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
Rainfall (in)	0.38	0.74	1.30	1.70	2.10	3.00	5.00	7.00

A residential development in subcatchment 4 will increase the impervious area so that the developed SCS curve number will be 85. The unit hydrograph parameters are expected to change to $C_t = 0.19$ and $C_p = 0.5$. Modification of the channel through subcatchment 1 will change its Muskingum routing parameters to $K = 0.4$ h and $X = 0.3$. The detention reservoir to be constructed at the outlet of subcatchment 4 has the following characteristics:

Low-level outlet	
Diameter	5 ft
Cross-sectional area	19.63 ft^2
Orifice coefficient	0.71
Centerline elevation	391 ft (above MSL)
Overflow spillway (ogee type)	
Length	30 ft
Weir coefficient	2.86
Crest elevation	401.8 ft (above MSL)

Reservoir capacity (acre·ft)	Elevation (ft above MSL)
0	388.5
6	394.2
12	398.2
18	400.8
23	401.8
30	405.8

Solution. The parameters used for Snyder's unit hydrograph in HEC-1 are t_p and C_p; t_p is calculated for the existing condition using `with` $C_1 =$ `1.0. and` C_t, L, and L_{CA} as given above. For example, for subcatchment 1,

$$t_p = C_t(LL_{CA})^{0.3} = 0.38(2.65 \times 1.40)^{0.3} = 0.56 \text{ h}$$

The results of this calculation for the four subcatchments are:

	Subcatchment				
	1	2	3	4	4 urbanized
C_t	0.38	0.38	0.38	0.38	0.19
t_p	0.56	0.41	0.34	0.40	0.20

The HEC-1 input for the Castro Valley Creek catchment is shown in Table 4.3 The data file has been annotated in the figure so that it can be understood better. Use of HEC-1's multiplan option enables the runoff hydrographs for all three conditions to be calculated in one computer run. Plan 1 is for existing conditions, plan 2 has subcatchment 4 urbanized, and plan 3 introduces the reservoir and channel modifications.

Each component operation begins with a KK card. The input has been set up so that the runoff from subcatchment 4 is determined first, then routing through the proposed detention reservoir is performed, followed by the Muskingum routing through subcatchment 1. Next, the rainfall-runoff computation is performed for subcatchment 1 and the resulting runoff hydrograph added to the runoff hydrograph from subcatchment 4. Next, rainfall-runoff computations are performed for subcatchment 2, and this runoff is routed through subcatchment 3 and added to the outlet hydrograph. The final step is to perform the rainfall-runoff computations for subcatchment 3 and to add this result to the outlet hydrograph.

The resulting runoff hydrographs at the outlet of subcatchment 4 and at the outlet of the entire catchment for each of the three plans are shown in Fig. 4.7 The peak discharge from subcatchment 4 under existing conditions is 271 cfs, and under urbanized conditions, 909 cfs. The detention reservoir reduces the peak discharge to 482 cfs. The peak water surface elevation in the reservoir is 402.88 ft above mean sea level (MSL) at time 12.67 h. The peak discharges at the outlet are 1906 cfs for existing conditions, 2258 cfs for urbanized conditions, and 2105 cfs for urbanized conditions with the reservoir and channel modifications.

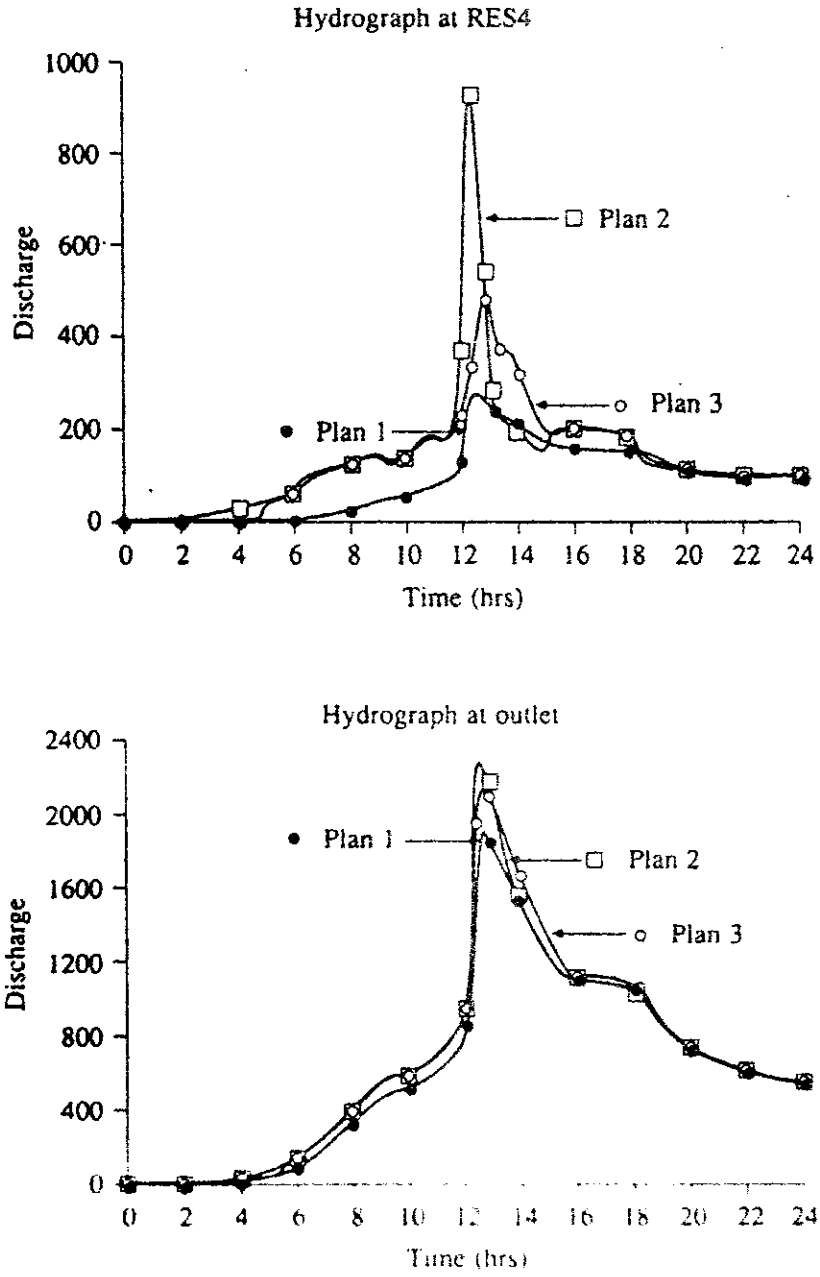


FIGURE 4.7
Discharge hydrographs at RES4 and at outlet (Example 4.1) Plan 1 is for existing conditions, Plan 2 has subcatchment 4 urbanized, and Plan 3 introduces a reservoir and channel modifications downstream of subcatchment 4.

TABLE 4.3
HEC-1 input for the Castro Valley watershed (Example 15.2.1).

Column: 1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	
Row:											
1 ID	CASTRO VALLEY CREEK CATCHMENT						[Identification cards]				
2 ID	CONSIDER EXISTING CONDITIONS, DEVELOPED CONDITIONS AND										
3 ID	DEVELOPED CONDITIONS WITH IMPROVEMENTS										
4 IT	5	0	0	289			[Time step (min) and duration of computation]				
5 JP	3						[Multiplan option with 3 plans]				
* PLAN1 = EXISTING CONDITIONS											
* PLAN2 = URBANIZED CONDITIONS											
* PLAN3 = URBANIZED CONDITIONS WITH IMPROVEMENTS											
6 KK	SUB4						[Component identification card]				
7 KM	RUNOFF COMPUTATIONS FOR SUBCATCHMENT 4						[Comment card]				
8 PH	1	5.51	0.38	0.74	1.30	1.70	2.10	3.00	5.00	7.00	[Precip]
9 BA	0.86						[Basin area in square miles]				
10 LS	0	70					[SCS loss rate parameters CN = 70]				
11 US	0.40	0.25					[Snyders unit hydrograph parameters, t_p and C_p]				
12 KP	2						[Second plan, urbanized conditions]				
13 LS	0	85									
14 US	0.20	0.5									
15 KP	3						[Third plan, also urbanized]				
16 LS	0	85									
17 US	0.20	0.5									
18 KK	RES4						[Reservoir in subarea 4]				
19 KM	ROUTE SUB4 THROUGH RESERVOIR										
20 KP	1						[Runoff not routed through reservoir				
21 RN							in plans 1 and 2]				
22 KP	2										
23 RN											
24 KP	3						[Routing throught reservoir in plan 3]				
25 RS	1	STOR	0				[Reservoir routing]				
26 SV	0	6	12	18	23	30	[Volume in acre·ft]				
27 SE	388.5	394.2	398.2	400.8	401.8	405.8	[Elevation in feet above MSL]				
28 SL	391	19.63	0.71	0.5			[Pipe outlet characteristics]				
29 SS	401.8	30	2.86	1.5			[Spillway characteristics]				
30 KK	OUT						[Channel routing component]				
31 KM	ROUTE SUBCATCHMENT 4 RUNOFF TO OUTLET										
32 KP	1						[Plans 1 and 2 are the same.]				
33 RM	1	0.6	0.2				[Muskingum parameters K = 0.6 h, X = 0.2]				
34 KP	3										
35 RM	1	0.4	0.3				[New Muskingum parameters for plan 3]				
36 KK	SUB1						[Runoff from subarea 1]				
37 KM	RUNOFF COMPUTATIONS FOR SUBCATCHMENT 1										
38 BA	1.52										
39 LS	0	70									
40 US	0.56	0.25									
41 KK	OUT						[Addition of two hydrographs]				
42 KM	COMBINE SUBCATCHMENT 1 RUNOFF WITH SUBCATCHMENT RUNOFF ROUTED TO OUTLET										
43 HC	2										
44 KK	SUB2						[Runoff from subarea 2]				
45 KM	RUNOFF COMPUTATIONS FOR SUBCATCHMENT 2										
46 BA	2.17										
47 LS	0	84									
48 US	0.41	0.25									
49 KK	OUT						[Channel routing to outlet by the Muskingum method]				
50 KM	ROUTE SUBCATCHMENT 2 RUNOFF TO OUTLET										
51 RM	1	0.3	0.2								
52 KK	OUT						[Addition of two hydrographs]				
53 KM	COMBINE HYDROGRAPHS AT OUTLET										
54 HC	2										
55 KK	SUB3										
56 KM	RUNOFF COMPUTATIONS FOR SUBCATCHMENT 3										
57 BA	0.96										
58 LS	0	80									
59 US	0.34	0.25									
60 KK	OUT						[Addition of two hydrographs]				
61 KM	COMBINE DIVERSION AT OUTLET										
62 HC	2										
63 ZZ							[Termination card]				

The comments in brackets [ ] are for interpretation of the figure only and are not part of the actual input data.

ภาคผนวก

HEC-1 Input Description
Input Data Structure

Finally the job is terminated by a ZZ record. Data for a new job beginning with an ID record may follow immediately after the ZZ record.

The record sequence for a typical job is shown. A dash, -, is used to indicate the second character of a record identification which will be selected at the option of the user.

ID	Job identification
IT	Time specification
I-*	Additional initialization data
J-*	Job type
O-*	Optimization
VV*,VS*	Variable output summary tables
KK	Hydrograph computation identification
	KK-record groups describing RUNOFF, ROUTING, COMBINING, etc., components are repeated as necessary to simulate the processes and connectivity of a river basin. See following pages.
EC*	Economic data identification
. (See section on economic data)	
ZZ	End-of-job record

*Optional records

HEC-1 Input Description
Input Data Structure

Data input for RUNOFF calculations will be retained and used for subsequent runoff calculations until new data are read. Thus the data used in calculating runoff need only be read once, unless they are to be changed for a new basin. A typical record sequence for computing subbasin rainfall-runoff is:

(	KK	Hydrograph computation identification)
(		)
(	BA	Basin area)
(		)
(	BF*	Base flow data)
(		)
(	P-	Precipitation data)
(		)
(	L-	Loss data)
(		)
(	U-	Unit graph or kinematic wave data)
(	KK	Hydrograph computation identification)
(		)
(	BA	)
(		)
(	BF*	If BF, P-, L-, U-records)
(		)
(	P-*	do not appear, data from)
(		)
(	L-*	previous calculation will)
(		)
(	U-*	be used.)
(	KK	Etc.)
(		)

For hydrograph ROUTING the record sequence is:

(	KK	Hydrograph computation identification)
(		)
(	R-	Routing option)
(		)
(	S-*	Reservoir data or dam-break analysis)

*Optional records

HEC-1 Input Description
Input Data Structure

For DIVERSIONS the record sequence is:

(	KK	Hydrograph computation identification)
(		)
(	DT	Diversion identification)
(		)
(	DI	Inflow to diversion point)
(		)
(	DQ	Diverted flow)
)		
(	KK	Etc., for other parts of stream)
(		network)
.		
.		
.		
(	KK	Hydrograph computation identification)
(		)
(	DR	Retrieve diversion hydrograph)
(	KK	Etc., for routing/combining of return)
(		flow)
.		
.		
.		

Each input record is described in detail on the following pages. Variable locations on each record are shown by field numbers which indicate the relative position of the data on the record.

When data are entered in FIXED FORMAT the record is divided into ten fields of eight columns each, except field one. Variables occurring in field one may only occupy columns 3-8 because columns 1 and 2 are reserved for the record identification characters. Integer and alphanumeric values must be right justified in their fields.

Data may also be entered in FREE FORMAT where fields are separated by a comma or one or more spaces. Successive commas are used to indicate blank fields. When entering time series data (flow, precipitation, etc.), more (or less) than 10 values can be placed on a record.

1.3 Input Control Records

The following records may be used to control the format and printing of the input data. An input comment record is also described which may be inserted anywhere in the input data stream.

RECORD IDENTIFICATION	DESCRIPTION OF INPUT CONTROL
*LIST	Causes echo print of input data following this record until a *NOLIST record is encountered. *LIST is the default assumption.
*NOLIST	Stops echo print listing of input data until a *LIST record is encountered.
*FREE	Indicates a free format will be used for the input following this record and before a *FIX record is encountered. Fields may be separated by a comma or by one or more spaces. Successive commas would indicate blank fields. When entering time-series data (flow, precipitation, etc.), more (or less) than 10 values may be placed on a record. Default is fixed format.
*FIX	Indicates a standard HEC fixed format (10 8-column fields) will be used for the data following this record and before a *FREE record is encountered. Default is fixed format.
*	This is a COMMENT record that is printed only with the input echo listing. The comment occupies columns 3 through 80. Any number of comment records may be inserted at any point in the input data stream.
*DIAGRAM	Causes a diagram of the stream network to be printed. In multiple job runs this option is reset so a diagram is generated only for those jobs which contain this record.

NOTE - The asterisk (*) must be in column 1 and followed by the remainder of the identification. If column 2 is blank, it is assumed to be a COMMENT record.

ID

HEC-1 Input Description
Job Initialization (I Records)

2 Job Initialization (I Records)

The ID and IT records are required to begin the job. The other records (IM AND IO) are only used if those options are desired.

2.1 ID Record - Job Title Information**

At least one ID record is required but any number may be used as desired to title the output from this job. The title information is contained in columns 3-80 inclusive and any characters or symbols may be used.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
Col 1+2	ID	ID	Record identification.
1-10	ITLS	AN	Job title information.

**Required

2.2 IT Record - Time Specification**

The IT record is used to define time interval, starting date and time, and length of hydrographs calculated by the program.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
Col 1+2	ID	IT	Record identification.
1	NMIN	+	Integer number of minutes in tabulation interval. Minimum value is one minute.
2	IDATE[1]	+	Day, month, and year of the beginning of the first time interval (e.g., 17MAR78 is input for March 17, 1978). Required to specify pathname part D when using DSS.
3	ITIME[1]	+	Integer number for hour and minute of the beginning of the first time interval (e.g., 1645 is input for 4:45 pm).
4	NQ	+	Integer number of hydrograph ordinates to be computed (300 maximum). If end date and time are specified in Fields 5 and 6, NQ will be computed from the beginning and end dates and times.
5	NDDATE	+	Day, month, and year of last ordinate (used to compute NQ).
6	NDTIME	+	Integer number for time of last ordinate (used to compute NQ).
7	ICENT	+	Integer number for century of IDATE (e.g., 1800, default 1900)

[1]CAUTION - IDATE and ITIME are the time of initial flow conditions. No runoff calculations are made from precipitation preceding this time. The first runoff computation is for the end of the first period (ITIME+NMIN); thus, the first precipitation value specified should be for the precipitation that fell between ITIME and ITIME+NMIN.

Use 3-character code for month: JAN, FEB, MAR, APR, MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, NOV, DEC. Use of any other code for month means this is not a date, and days will be numbered consecutively from the given day. Default is day = 1.

**Required

IN

HEC-1 Input Description
Job Initialization (i Records)

2.3 IN Record - Time Interval for Input Data

The IN record is used to define time interval and starting time for time series data which are read into the program on PC, PI, QO, QI, QS, MD, MS, MT and MW records.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
1	JXMIN	+	Integer number of minutes in tabulation interval.
2	JXDATE	+	Day, month, year at beginning of the first time interval (e.g., March 17, 1978 is input as 17MAR78).
3	JXTIME	+	Hour and minute at the beginning of the first time interval (e.g., 4:45 pm is input as 1645).

If an IN record is not used the time interval and starting time for all time series will be the values specified on the IT record.

IN records may appear anywhere (exception: not after JD and before PI) in the input stream. The same time interval and starting time will be used for all time series data until these values are reset by reading new values on an IN record.

When time series data are read from PC, PI, QO, QS, QP, MD, MS, MT, or MW records, values to be used by the program are computed using linear interpolation to match the tabulation interval specified on the IT record.

For times preceding or following the given ordinates, the first or last value is repeated as necessary to define NQ (IT-4) ordinates.

Data on PC, QI, QO, QP and QS records are instantaneous values. The first value will occur at JXDATE and JXTIME.

Data on PI, MD, MS, MT and MW records are cumulative or average values over a time interval. The first value on these records is for the time interval beginning at JXDATE, JXTIME and ending at JXTIME + JXMIN.

2.4 IO Record - Output Control

The IO record is used to control output for the entire job. The KO record may be used to change output control for each hydrograph calculation.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
Col 1+2	ID	IO	Record identification.
1	IPRT	0,1,2	Print all output.
		3	Print input data and intermediate and master summaries.
		4	Print input data and master summary.
		5	Print job specification and master summary only.
2	IPLT	0,1	No printer plots for entire job unless overridden temporarily by a KO record for any station operation.
		2	Plot every computed hydrograph for entire job unless overridden by a KO record for any station.
3	QSCAL	0 or, Blank	Program will choose scale for streamflow plots.
		+	Desired scale for streamflow plots in units per ten printer characters (e.g., one hundred for one hundred cfs per ten characters).

2.5 IM Record - Metric Units

This record is required if input is in metric units. Include one record with IM beginning in column 1. No other fields on the record are presently used.

JP

HEC-1 Input Description
Job Type Option (J Records)

3 Job Type Option (J Records)

J records are required only if one of the following special jobs is desired.

3.1 JP Record - Multiplan

Required only if more than one plan is being analyzed or if performing single event damage.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
Col 1+2	ID	JP	Record identification.
1	NPLAN[1]	+	Number of plans desired (NPLAN = 1 for single event damage calculation).

NOTE: The product NPLAN*NRATIO (NRATIO is the number of ratios as defined on JR record) cannot exceed forty-five. The product NPLAN*NRATIO*NQ (NQ defined on IT record) cannot exceed 4,800. These limits may be changed if the dimensions are changed as noted in the HEC-1 Programmers Manual.

[1]Must be greater than or equal two for economic analysis.

บทปฏิบัติการที่ 4

การวิเคราะห์ Flood Hydrograph ด้วย HEC-1

4.1 Use the U. S. Army Corps of Engineers program HEC-1 to determine the runoff hydrograph for the watershed shown in Fig. 4.8 The watershed is divided into two subcatchments, A and B, with the following characteristics:

Subcatchment	Area (mi^2)	Watershed length L (mi)	Length to centroid L_{CA} (mi)	SCS curve number CN
A	2.17	1.85	0.68	70
B	0.96	1.13	0.60	75

Use Snyder's synthetic unit hydrograph with $C_p = 0.25$ and $C_t = 0.38$ for both subcatchments. Muskingum routing is to be used for flows through subcatchment B with $K = 0.3$h and $X = 0.25$. Consider a 15-minute unit hydrograph, and use the 12-hour storm defined by the following depth-duration data.

Duration	15 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h
Rainfall (in)	0.74	1.30	1.70	2.10	3.00	5.00

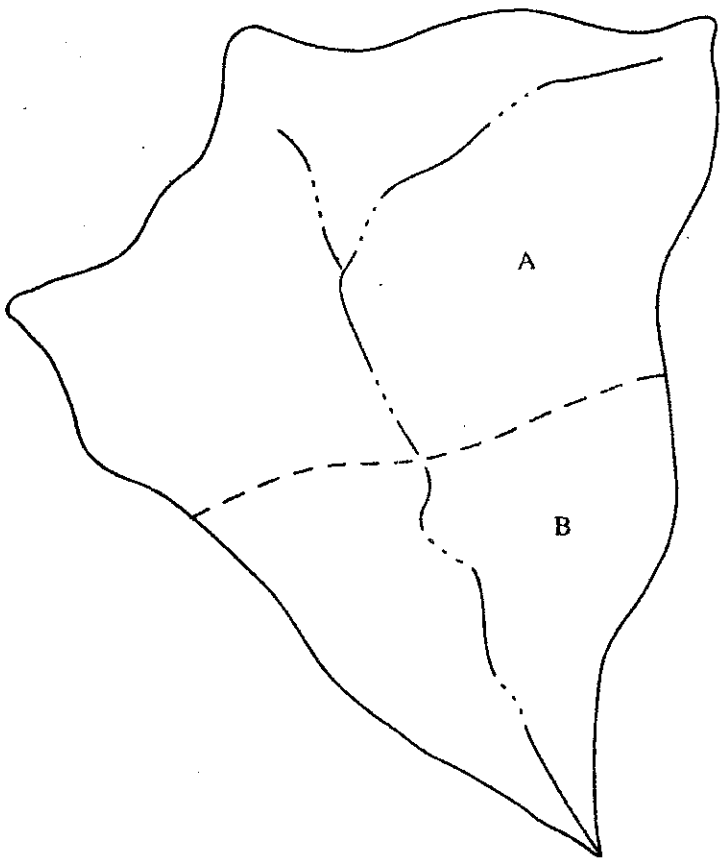


FIGURE 4.8

4.2 Solve Prob. 4.1 for urbanized conditions, with the area developed so that the curve numbers are 85 for subcatchment A and 90 for subcatchment B. The Muskingum K for the channel through subcatchment B is now 0.2 h. The Snyder parameters C_p and C_t change to 0.35 and 0.30, respectively. Use the U. S. Army Corps of Engineers HEC-1 program to compute the runoff hydrograph for urbanized conditions using the hypothetical storm given in Prob. 4.1

4.3 Using the urbanized conditions in Prob. 4.2 for the watershed in Prob. 4.1 determine the runoff hydrograph if the following detention reservoir is placed at the outlet of subcatchment B. Use the U. S. Army Corps of Engineers HEC-1 computer program to perform the computations.

Low-level outlet	
Diameter	5 ft
Orifice coefficient	0.71
Centerline elevation	391 ft above MSL
Overflow spillway (ogee type)	
Length	30 ft
Weir coefficient	2.86
Crest elevation	400 ft above MSL

Reservoir capacity (acre·ft)	Elevation (ft above MSL)
0	388.5
6	394.2
12	398.2
18	400.8
23	401.8
30	405.8

4.4 Determine the 100-year discharge from Waller Creek at its confluence with the Colorado River in Austin, Texas (see Fig. 4.9), using the U. S. Army Corps of Engineers HEC-1 computer program. Use the 100-year 3-hour design rainfall pattern for Austin given in Table 4.5 The subcatchment data are presented in Table 15.P.3. The SCS infiltration model is to be used to describe losses with the appropriate curve numbers listed in Table 4.4 Use Muskingum routing through the subareas with a weighting factor X of 0.250 and the K values in the table. Use Snyder synthetic 10-minute unit hydrographs for each subarea. Perform computations over a 20-hour time frame. What are the total loss and the total excess volume for each subarea?

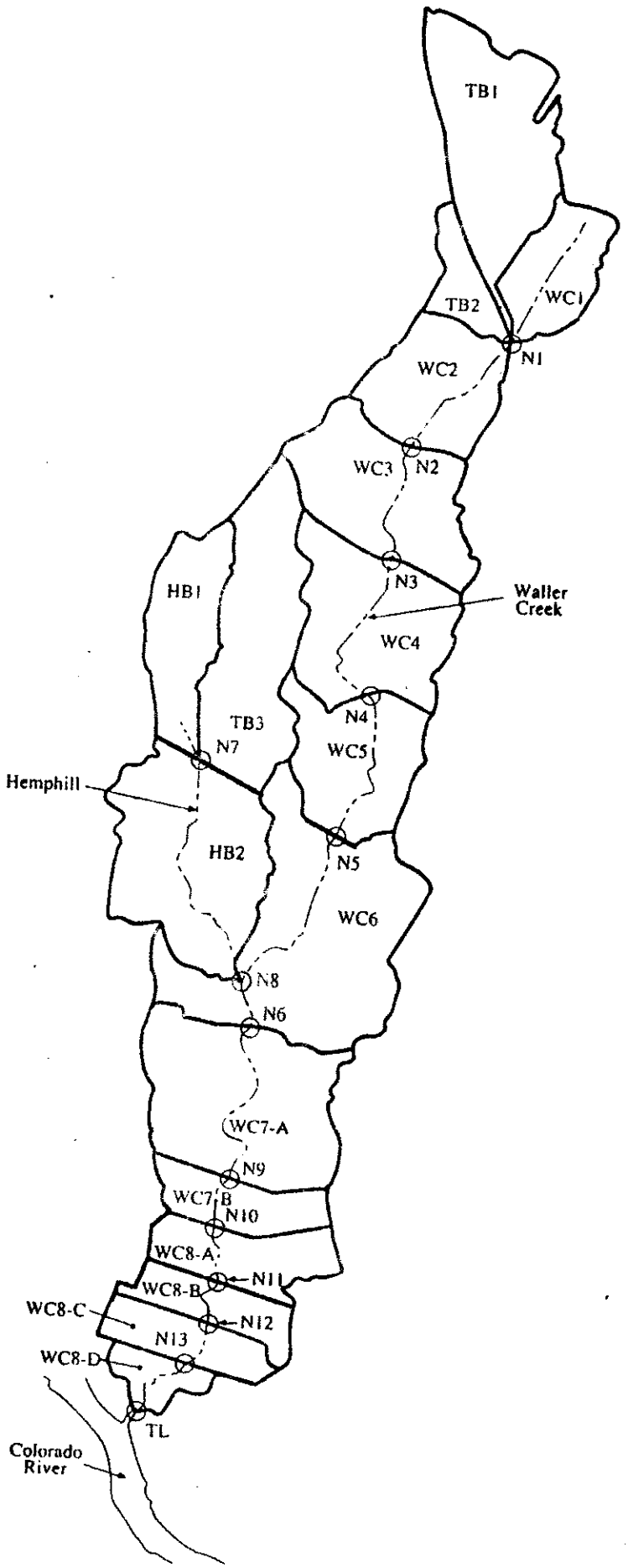


FIGURE 4.9
Waller Creek subarea delineation and node locations.

TABLE 4.4
Subarea physiographic characteristics for Waller Creek Watershed

Subarea designation	Area	Length	Slope	Curve number	Lag time t_p	Muskingum* K	Peak Factor C_p
	mi^2	(ft)	(ft/ft)		(h)	(h)	
WC1	0.19	4800	0.015	87	0.28	–	0.54
WC2	0.32	4250	0.013	86	0.29	0.20	0.54
WC3	0.41	3600	0.015	87	0.26	0.15	0.53
WC4	0.47	5000	0.011	86	0.32	0.24	0.54
WC5	0.32	5700	0.014	85	0.31	0.22	0.54
WC6	0.70	7400	0.012	89	0.32	0.25	0.53
WC7–A	0.53	5400	0.013	89	0.29	0.24	0.54
WC7–B	0.17	2900	0.017	89	0.22	0.07	0.53
WC8–A	0.19	2500	0.025	91	0.18	0.07	0.51
WC8–B	0.16	2750	0.026	91	0.18	0.07	0.50
WC8–C	0.15	3300	0.014	91	0.24	0.06	0.54
WC8–D	0.10	2900	0.013	91	0.23	0.11	0.54
HB1	0.20	6300	0.012	86	0.33	–	0.56
HB2	0.50	7600	0.011	87	0.34	0.34	0.54
TB1	0.49	7700	0.013	86	0.34	–	0.54
TB2	0.11	3700	0.012	90	0.27	–	0.56
TB3	0.45	8000	0.010	86	0.37	–	0.55

*For routing through subarea. Use K = 0.06 for routing between nodes N8 and N6 in subarea WC6.

Table 4.5 100-Year - 3 hour Design Rainfall

Design storm rainfall depths (in)

Minutes	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10-year	0.070	0.083	0.104	0.126	0.146	0.170	0.250	0.450	1.250	0.650
25-year	0.105	0.122	0.140	0.167	0.173	0.225	0.306	0.510	1.417	0.783
100-year	0.138	0.155	0.168	0.203	0.250	0.332	0.429	0.665	1.700	0.935
Minutes	110	120	130	140	150	160	170	180	Totals	
10-year	0.317	0.203	0.164	0.142	0.112	0.093	0.073	0.067	4.470	
25-year	0.417	0.297	0.192	0.170	0.143	0.126	0.119	0.099	5.511	
100-year	0.513	0.373	0.293	0.243	0.182	0.159	0.147	0.135	7.020	

บทที่ 5

การวิเคราะห์เส้นระดับผิวน้ำด้วย HEC-2

(Water Surface Profiles Analysis by HEC-2)

5.1 บทนำ

HEC - 2 ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้คำนวณ Water Surface Profiles สำหรับการไหลของน้ำแบบ Steady Gradually Varied Flow ในทางน้ำธรรมชาติหรือทางน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น สามารถคำนวณได้ทั้งในกรณีที่การไหลของน้ำเป็นแบบ Subcritical และ Supercritical และสามารถวิเคราะห์ผลของอาคารเช่น สะพาน ท่อลอด ฝาย และอาคารอื่น ๆ ในทางน้ำต่อการไหลและต่อ Water Surface Profiles ได้ การคำนวณใช้วิธี Standard Step Method ซึ่งพิจารณาว่าการไหลของน้ำเป็นแบบ One Dimensional Flow ซึ่งเอิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจาก Friction และสามารถคำนวณโดยใช้สมการ Manning's โปรแกรม HEC - 2 ใช้ได้กับทางน้ำซึ่งมีความลาดเหน้อยกว่า 1 : 10

HEC - 2 ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงาน Floodplain Management และการศึกษาเกี่ยวกับ Flood Insurance เพื่อประเมินผลของสิ่งกีดขวางทางน้ำ (Floodway Encroachments) การขุดลอกทางน้ำ (Channel Improvements) และเขื่อนป้องกันน้ำท่วมต่อ Water Surface Profiles.

HEC - 2 สามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งระบบเมตริก และอังกฤษ มีโปรแกรมช่วย 3 โปรแกรมคือ

EDIT 2 - ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของ Imput Data File

SUMPO - interactive summary printout program.

PLOT 2 - graphics program ซึ่งสามารถ plot water surface profiles ด้วย plotter HP 7475 A pen plotter

การเข้าสู่ EDIT 2, SUMPO และ PLOT 2 ทำได้โดยการ Run HEC 2 แล้ว Move cursor ไปที่ " 3. Run HEC 2" กด < SPACE BAR > เพื่อ Toggle ระหว่าง HEC 2, EDIT 2, SUMPO และ PLOT 2 รายละเอียดเกี่ยวกับ EDIT 2, SUMPO และ PLOT 2 จะได้นำมากล่าวถึงในบทต่อ ๆ ไป

โครงสร้างของ HEC 2 และโปรแกรมช่วยต่าง ๆ แสดงอยู่ในรูปที่ 5.1

5.2 Standard Step Method

สมการ Standard Step Method

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (5.1)$$

$$h_e = L\,\bar{S}_f + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right| \qquad (5.2)$$

where: WS_1, WS_2 = water surface elevations at ends of reach (see Figure 5.2)

V_1, V_2 = mean velocities (total discharge ÷ total flow areas) at ends of reach

α_1, α_2 = velocity coefficients for flow at ends of reach

g = acceleration of gravity

h_e = energy head loss

L = discharge-weighted reach length

$\bar{S}_f$ = representative friction slope for reach

C = expansion or contraction loss coefficient

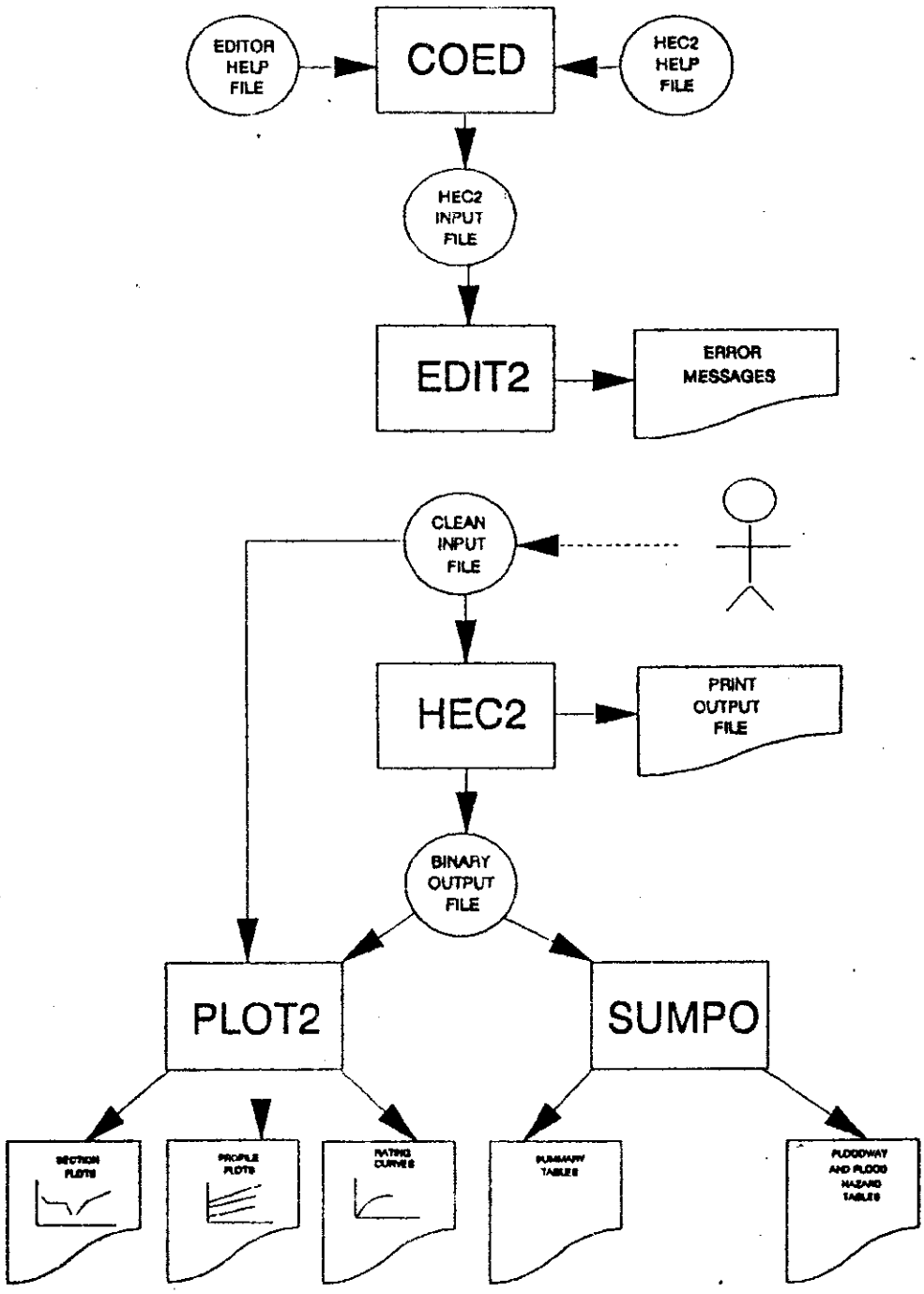
The discharge-weighted reach length, L, is calculated as:

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \qquad (5.3)$$

where: L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} = reach lengths specified for flow in the left overbank, main channel and right overbank, respectively

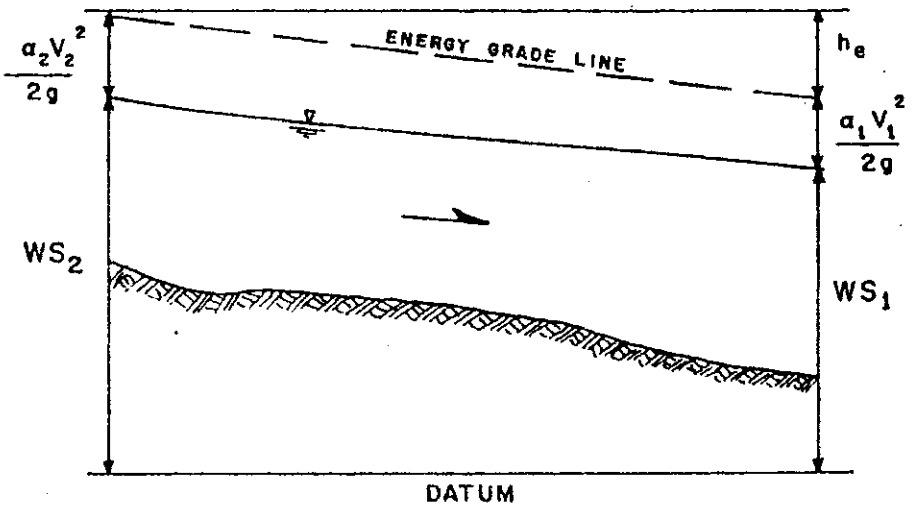
$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = arithmetic average of flows at the ends of the reach for the left overbank, main channel, and right overbank, respectively

การคำนวณจะเริ่มจาก Cross Section ที่รู้ค่า แล้วคำนวณไปทางด้านเหนือน้ำสำหรับการไหลแบบ Subcritical หรือคำนวณไปทางด้านท้ายน้ำสำหรับการไหลแบบ Supercritical โดยวิธี Trial & Error



รูปที่ 5.1

HEC-2 Computational Process [HEC 1990 (b)]



รูปที่ 5.2
Representation of Terms in Energy Equation

5.3 ประโยชน์ของ HEC-2

- Multiple Profile Analysis สามารถคำนวณได้ถึง 14 profiles และมากถึง 800 cross sections
- Critical Depth Computation ของแต่ละ Cross - Section
- Simulate sediment deposition และการวิเคราะห์ floodplain encroachment โดยระบุใน Card X3
- วิเคราะห์ Bridge Losses หรือการสูญเสียพลังงานเนื่องจากอาคารที่ตั้งอยู่ในทางน้ำ
- วิเคราะห์ Channel Improvement
- Interpolate Crose Sections
- Tributary stream profiles
- Solve for Manning's n.
- Storage - Outflow Data สำหรับการ Routing ด้วยวิธี Modified Puls ใน HEC 1
- Split flow เนื่องจากอาคารผันน้ำ
- Ice covered stream

5.4 Basic Data Requirements

- Flow regime

  (1 = supercritical flow ; 0 หรือ Blank = subcritical)

- Starting elevation
- Discharge
- Energy loss coefficient

  (Manning's n, roughness height k, contraction/expansion coef.,

  bridge/culvert loss coef.)

- Cross section geometry
- Reach lengths

5.5 Program Input

Format = A2, F6.0, 9F8.0 (right justified)

Minimum data Set = T3, T1, NC, X1, GR, EJ and ER

Typical HEC - 2 data Organization แสดงอยู่ในตารางที่ 5.1

ตัวอย่าง Cross Section แสดงอยู่ในรูปที่ 5.3 และตัวอย่างของ Basic Input Data แสดงอยู่ในตารางที่ 5.2 รายละเอียด record ต่าง ๆ อยู่ในตารางที่ 5.3 และ Functional Use Index อยู่ในตารางที่ 5.4 รายละเอียดการป้อนข้อมูลและตัวอย่าง Job Control Record แสดงอยู่ในภาคผนวกท้ายบท

5.6 Program Output

Output control option แสดงอยู่ในตารางที่ 5.5

5.7 HEC-2, EDIT 2, SUMPO, PLOT 2

5.7.1 HEC-2 Menu

1. Define input/output files
2. Create/edit input file
3. Run HEC 2
4. Display output to condole
5. Exit to Dos

ใช้ <Spacebar> toggle option " 3. Run HEC 2 " กับโปรแกรมช่วยอื่น ในทำนองเดียวกันสามารถใช้ <Spacebar> toggle option " " 4. Display output to console " กับ " 4. Display output to printer "

COED Help screen แสดงอยู่ในรูปที่ 5.4 การ Run HEC 2 ใน Dos Prompt

HEC 2 INPUT = "filename" OUTPUT = "filenam " TAPE 95 = "filemane"

5.7.2 EDIT 2

เป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของ HEC 2 input data file พร้อมทั้งแสดงรายการข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ EDIT 2 ยังสามารถแปลง FREE FORMAT DATA เป็น FIXED FORMAT DATA โดยการเขียนลงไปใน file (TAPE 10)

ED Card ซึ่งถ้าทีจะต้องเป็นบรรทัดแรกใน Data file สามารถใช้เปลี่ยน Control Variable 3 ตัว ได้แก่

1. สั่งไม่ใช้ List input data
2. สั่งให้ Output มีความกว้างไม่เกิน 80 Column โดยไม่มี Carriage Control (Default 132)
3. ใช้เปลี่ยนช่วงระดับต่างซึ่งใช้ตรวจสอบความถูกต้องของระดับ (Default 150)

การ Run EDIT 2 ใน DOS prompt

EDIT 2 INPUT = " filename " OUTPUT = " filenam "

OUTPUT = CON for screen

= PRN for printer

5.7.3 SUMPO

ใช้สร้าง SUMMARY PRINTOUT โดยใช้ข้อมูลจาก Binary HEC - 2 Output file TAPE 95 ประธยชน์ของ SUMPO คือ

(1) กำหนดรูปแบบ SUMMARY TABLE ตามที่อธิบายใน J3 Record

(2) สร้างตารางสรุปของตัวแปรที่เลือก

ดังนั้นก่อนที่จะ Run HEC 2 ครั้งต่อไปควร Save ของข้อมูลใน TAPE 95 ก่อน

5.7.4 PLOT 2

ใช้ Plot profile cross section และ rating curves จาก TAPE 95 ด้วย HP 7475 A pen plotter

5.8 เอกสารอ้างอิง

(1) Hydrologic Engineering Center, HEC-2 (Water Surface Profiles), User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers, USA, September 1990 (a)

(2) Hydrologic Engineering Center, Computing Water Surface Profiles with HEC-2 on a Personal Computer, Training Document No. 26, U.S. Army Corps of Engineers, USA, September 1990 (b).

ตารางที่ 5.1

Typical HEC-2 Data Organization (Multiple Profile Run)

[HEC. 1990 (a)]

Record Type	Record Identification	Application
Split Flow	SF*, JC, JP, TW, WS, WC, TN, NS, NG, TC, CS,CT,EE*	All Profiles
Documentation	AC,C	All Profiles
Documentation Job Control	T1- T9 J1*, J2	First Profile
Job Control Change Cross Section	J3 - J6 NC*, NH, NV, KH, QT, ET, IC X1*, CI, X2, X3, X4, X5, GR*	All Profiles
Culvert (Special Culvert) Bridge (Special Bridge) Cross Section	SC* SB* X1*, X2*, X3, X4, X5, BT, GR	All Profiles
Change Cross Section	NC, NH, NV, KH, QT, ET, IC X1*, CI, X2, X3, X4, X5, GR	All Profiles
Cross Section Job Control	X1*, CI, X2, X3, X4, X5, GR EJ*	All Profiles
Documentation Job Control	T1 - T9 J1*, J2*	Second Profile
Documentation Job Control	T1 - T9 J1*, J2*	Last Profile
Job Control	ER*	Terminate Run

*Indicates required records

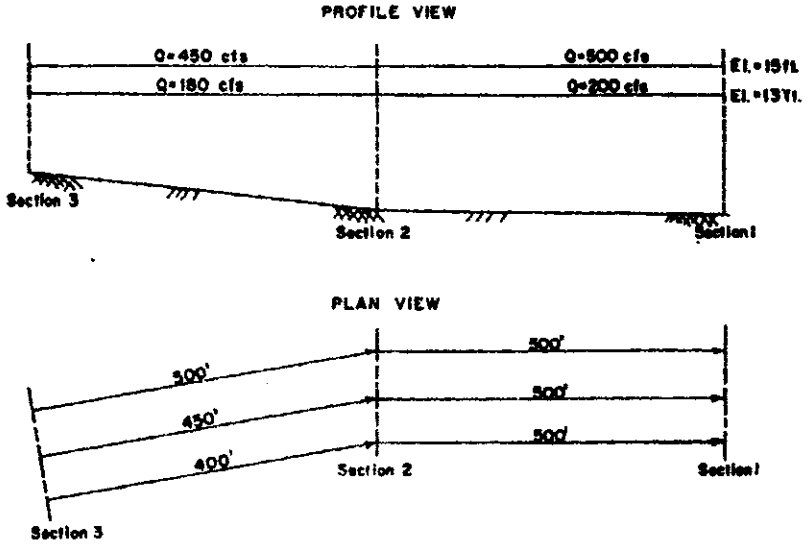


Figure 8
Sample Problem Profile and Plan Views

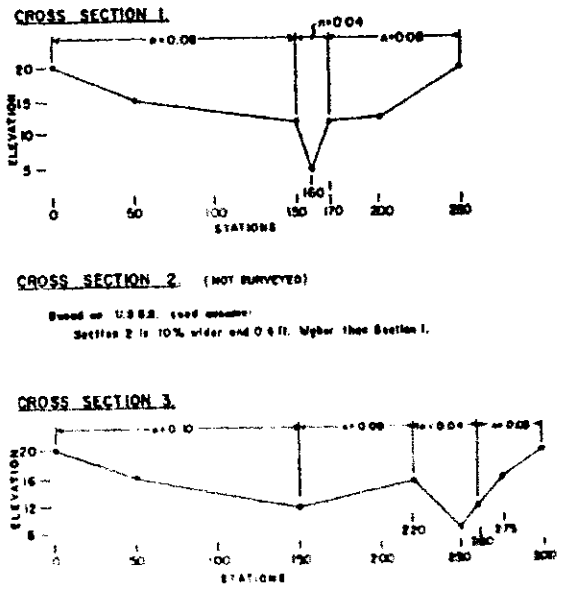
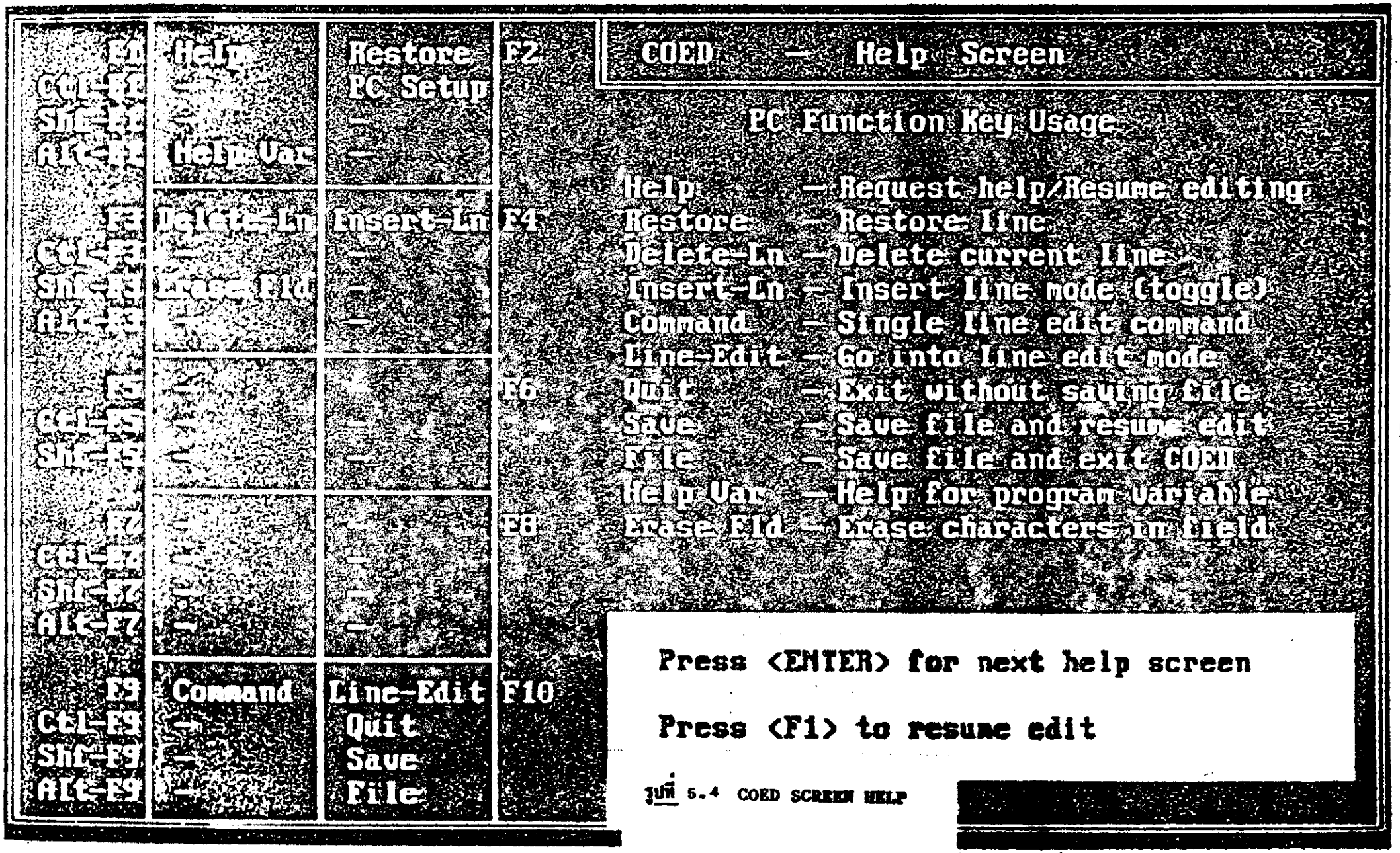


Figure 5.3

Sample Problem Cross Sections



รูปที่ 5.4 COED SCREEN HELP

ตารางที่ 5.2

Basic Input Example

```
T1    SAMPLE PROBLEM SHOWING BASIC INPUT
T2    First Profile, Q = 200 cfs  WSEL = 13 ft.
T3      Sample Creek
T4    Use as many Title records (T1-T9) as necessary to define the job.

*     Profile 1 reading field 2 of QT, starting at 13 ft. elevation.
*     Zero values indicate subcritical profile starting with known elevation.
J1          2              0       0                                  13

*     Manning's 'n' = .08 overbanks & .04 channel
*     Contraction coef. 0.1 and Expansion coef. 0.3
NC   .08     .08     .04      .1      .3

*     Discharge table with 2 flows: 200 cfs and 500 cfs
QT    2     200     500

*     Cross section 1 with 7 GR stations, and bank stations at 150 and 170.
*     Reach lengths to downstream section are not required for first section.
X1    1       7     150     170
GR   20       0      15      50      12     150       5     160      12     170
GR   15     200      20     250

*     Repeat cross section, 500 ft. reach lengths, expand 10%, raise 0.4 ft.
X1    2                            500     500     500     1.1      .4

*     Revise Manning's 'n' values based on stations at Section 3
NH    4     .10     150     .08     220     .04     260     .08     300

*     Revise the discharges, starting with the next section (SECNO 3)
QT    2     180     450

*     Reach lengths: 500' left, 400' right, & 450' channel
X1    3       8     220     260     500     400     450

*     Effective area option to exclude low overbank area until flow exceeds
*     the bank elevation.
X3   10
GR   20       0      16      50      12     150      16     220       8     250
GR   12     260      16     275      20     300

*     EJ ends input of reach model.  Following data define added profiles.
EJ
T1    Second profile, only one title required

*     Read field 3 of QT records and start at elevation 15 ft.
J1          3                                                  15

*     J2 record required subsequent profiles to define profile number.
J2    2
*     ER record ends the run.
ER
```

ตารางที่ 5.3 รายละเอียด Records ต่าง ๆ ของ HEC 2

3 ED Record (HEC-2 Data Edit Program (EDIT-2)) VII-3

4 Split Flow Records
- 4.1 SF Record - Split Flow Title VII-4
- 4.2 JC Record - Title Job VII-4
- 4.3 JP Record - Job Parameter VII-5
- 4.4 TW Record - Title for Weir Location VII-6
- 4.5 WS Record - Weir Parameter Data VII-6
- 4.6 WC Record - Weir Coordinate Data VII-7
- 4.7 TN Record - Title for Normal Depth Location VII-8
- 4.8 NS Record - Normal Depth Parameter Data VII-8
- 4.9 NG Record - Ground Coordinate Data VII-9
- 4.10 TC Record - Title for Rating Curve Location VII-10
- 4.11 CS Record - Rating Curve Parameter Data VII-10
- 4.12 CR Record - Rating Curve Data VII-11
- 4.13 EE Record - End of Split Flow Data VII-11

5 Documentation Records
- 5.1 AC Record - Archival Option VII-12
- 5.2 C_ Record - Comments for Describing Data VII-13
- 5.3 T1 - T9 Records - Title Records
  - 5.3.1 T1, T2, T4 - T9 Records VII-14
  - 5.3.2 T3 Record VII-14

6 Job Control Records
- 6.1 J1 Record - Starting Conditions VII-15
- 6.2 JR Record - Starting Rating Curve VII-17
- 6.3 JS Record - Starting Split Flow Assumption VII-18
- 6.4 J2 Record - Optional Features VII-19
- 6.5 J3 Record - Selection of Variables for Summary Tables VII-22
- 6.6 J4 Record - Storage-Outflow Records for HEC-1 ..... VII-29
- 6.7 J5 Record - Printout Control VII-30
- 6.8 J6 Record - Optional Friction Loss Equations VII-32
- 6.9 EJ Record - End of Job VII-34
- 6.10 ER Record - End of Run VII-34

7 Change Records
- 7.1 IC Record - Ice Data VII-35
- 7.2 NC Record - Starting Manning's 'n' Values & Shock Losses VII-37
- 7.3 NH Record - Horizontal Variations of Manning's 'n' VII-38
- 7.4 NV Record - Vertical Variations in Manning's 'n' VII-39
- 7.5 KH Record - Horizontal Description of Equivalent Roughness 'k' VII-40
- 7.6 QT Record - Table of Discharges for Multiple Profiles VII-41
- 7.7 ET Record - Encroachment Table VII-42

8 Cross Section Records
- 8.1 X1 Record - General Items for Each Cross Section VII-45
- 8.2 RC Record - Rating Curve for Inputting Water Surface Elevations VII-47
- 8.3 CI Record - Channel Improvement VII-48
- 8.4 X2 Record - Optional Items for Each Cross Section (Bridge, etc.) VII-50
- 8.5 X3 Record - Optional Items for Each Cross Section (Effective Area, etc.) VII-52
- 8.6 X4 Record - Additional Points for Cross Section VII-54
- 8.7 X5 Record - Use of Input Water Surface Elevations VII-55
- 8.8 GR Record - Ground Profile Elevations & Stations VII-56

9 Bridge and Culvert Records
- 9.1 SB Record - Special Bridge VII-57
- 9.2 SC Record - Special Culvert VII-59
- 9.3 BT Record - Bridge Table of Projections Stations VII-61

10 FR - Free Format VII-63

ตารางที่ 5.4

Functional Use Index

Task	Records Used
Basic Applications	T1, T2, T3, J1.4 - J1.9, NC, X1.1-X1.9, GR, EJ, ER
Archival Option	AC
Data Comment Records	C_
Multiple Profiles, Summary Printout	J2.1, J3
Printout Control	J5
Traces & Input Data Printout	J1.1, J2.10, X2.10
Storage-Discharge Output	J4
Printer Plots of Cross Sections and Profiles	J2.2 - J2.5, X1.10
Optional Friction Loss Equations	J6.1
Flow Distribution	J2.10, X2.10
Critical Depth Option	J2.7
Direct Solution for Manning's 'n'	J1.3, X2.2
Optional Records for Specifying Manning's 'n'	J2.6, NH, NV
Equivalent Roughness 'k'	KH
Options for Specifying Discharge	J1.2, J1.8, J1.10, X2.1, QT
Specifications of Ineffective Flow Areas & Encroachments	X3, ET
Additional Ground Points	X4
Channel Modification Due to Excavation	J2.8, J2.9, CI
Bridge and Culvert Losses	X2.3 - X2.6, BT, SB, SC, X5
Use of HEC-2 Data Edit Program	ED
Use of Free Format Input	FR, FIX, FREE
Use of the Flow Under Ice Option	IC
Water Surface Based on a Rating Curve	J1.5, JR, RC
Basic Applications of Split Flow Option	SF, TW, WS ,WC, EE

ตารางที่ 5.5

Control of Program Output

Output	Control Records
Commentary	C
Input Data Listing*	J1.1
Detailed Output by Cross Section*	J5
Flow Distribution	J2.10, X2.10
Traces	J2.10, X2.10
Summary Tables*	J3, J5
Profile Plots*	J2.3
Cross Section Plots	J2.2, X1.10
Archival Tape (TAPE96)	AC
Storage-Outflow (TAPE7)	J4
Fixed Format Input (TAPE10)	FR
Modified Data File (TAPE16)	J2.8

*These data are normal program output, but may be suppressed.

3. ED Record (HEC-2 Data Edit Program (EDIT-2) - Optional

Controls certain run options for data edit program. Does not need to be removed for HEC-2 runs.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	ED	Record identification characters.
1	LIST	YES (Blank)	Produce listing of input data before editing it (default).
		NO	Suppress listing.
2	CC	YES (Blank)	Produce 81 column output with carriage control in Column 1 suitable for line printer output or other wide carriage devices (default).
		NO	Limit output width to 80 columns without carriage control (i.e., for eighty column interactive terminals).
3	GRANGE	0 (Blank)	Use default value (150) for GR record elevation difference test.
		+	Value to use for GR record elevation difference test.

The HEC-2 data edit program (EDIT-2) is designed to accept as input any HEC-2 data file exactly as set-up for input to HEC-2. It will handle stacked jobs and all other features which are available in the September 1988 release of HEC-2.

The edit program will function with default run parameters for any HEC-2 data file. There are three parameters which may be entered on an optional ED record. If used, the ED record must be the first record in the data file and there may be only one. The format of the ED record is similar to HEC-2 data records; i.e., the letters ED in Columns 1 and 2 and the three values in the first three fields right justified to Columns 8, 16, and 24.

Suggestion for Using the EDIT2 Program. When RECORD OUT OF ORDER errors occur, many subsequent fallacious error messages may be triggered. It is suggested that the user correct the RECORD OUT OF ORDER errors first and rerun the edit program.

6 Job Control Records

6.1 J1 Record - Starting Conditions (required)

Job record specifying starting conditions and program options. This record is required for each job (profile).

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	J1	Record identification characters.
1	ICHECK	-10	Do not print data records NC - EJ.
		0	Print data records NC - EJ before execution of first profile.
2	INQ	0	QT, ET or X5 records are not used.
		2-20	Field number on QT, ET and X5 records to be used for this profile (job).
3	NINV	0	Option to compute Manning's 'n' from known high water marks will not be used.
		1	Manning's 'n' will be computed from known high water marks. Enter known water surface elevation as variable WSELK on second field of X2 record (X2.2) for each cross section.
4	IDIR	0	Subcritical flow. Cross sectional data (GR records) are input starting at the downstream end of the stream.
		1	Supercritical flow. Cross sectional data are input starting at the upstream end.
5	STRT	-1	Start computations at critical depth.
		0	Start with known water surface elevation. Enter WSEL in field nine.
		+<1	Start by slope-area method. Enter estimated energy slope here. This starting option cannot be used in conjunction with encroachment Methods 3, 4, 5, and 6 at first cross section.

J1

HEC-2 Input Description
Job Control Records

J1 Record (continued)

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
		+>1	Number of rating curve (discharge elevation) pairs to be read on the following JR records to start the backwater.
6	METRIC	0	Input and output in English units.
		1	Input and output in Metric units.
7	HVINS	0	No interpolated cross sections to be generated by computer.
		+	Enter maximum allowable change in velocity head between cross sections. If this value is exceeded, interpolated cross sections will be inserted by the program.
8	Q	0	Discharge specified by QT record, INQ(J1.2) is two or greater.
		+	Starting river flow (cfs or cms).
9	WSEL	+	If STRT(J1.5) is zero enter known starting water surface elevation.
10	FQ	0	A factor of 1.0 will be used to multiply all discharges (QT, X2.1 and J1.8).
		+	Factor to multiply all flows by (QT, X2.1 and J1.8).

7.2 NC Record - Starting Manning's 'n' Values and Shock Losses

Manning's 'n' and the expansion and contraction coefficients for transition (shock) losses are entered for starting each job, or for changing values previously specified. The NC record is required for the first cross section.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	NC	Record identification characters.
1	XNL	0	No change in Manning's 'n' value for the left overbank.
		+	Manning's 'n' value for the left overbank.
2	XNR	0	No change in Manning's 'n' value for the right overbank.
		+	Manning's 'n' value for the right overbank.
3	XNCH	0	No change in Manning's 'n' value for the channel.
		+	Manning's 'n' value for the channel.
4	CCHV	0	No change in contraction coefficient.
		+	Contraction coefficient used in computing transition losses.
5	CEHV	0	No change in expansion coefficient.
		+	Expansion coefficient used in computing transition losses.
6-10			Not used.

HEC-2 Input Description
Change Records

QT

7.6 QT Record - Table of Discharges for Multiple Profiles

Specifies a table of flows for use in computing a series of water surface profiles. The field of the flow being used for this job is specified by variable INQ(J1.2).

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	QT	Record identification characters.
1	NUMQ	1-19	Total number of flows (maximum 19) entered on the QT records. If NUMQ is greater than nine, two QT records are required, and the first field of the second QT record should contain a Q(N) value.
2-20	Q(N)	+	Flow values to be used for multiple profiles. Variable INQ(J1.2) indicates which field is used for this job. INQ may range from 2 to 20.

GR

HEC-2 Input Description
Cross Section Records

8.8 GR Record - Ground Profiles Elevations and Stations

This record specifies the elevation and station of each point in a cross section used to describe the ground profile, and is required for each X1 record unless NUMST (X1.2) is zero. The points outside of the channel determine the subdivision of the cross section which influences calculation of a discharge-weighted velocity head for the cross section.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	GR	Record identification characters.
1	EL(1)	+ or -	Elevation of cross section point one at station STA(1). May be positive or negative.
2	STA(1)	+	Station of cross section point one.
3	EL(2)	+ or -	Elevation of cross section point two at STA(2).
4	STA(2)	+	Station of cross section point two.
5-10 etc.			

Continue with additional GR records using up to 100 points to describe the cross section. **Stations must be** in increasing order progressing from left to right across the cross section.

8 Cross Section Records

8.1 X1 Record - General Items for Each Cross Section (required)

This record is required for each cross section (800 cross sections can be used for each profile) and is used to specify the cross section geometry and program options applicable to that cross section.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	X1	Record identification characters.
1	SECNO	+	Cross section identification number.
		-	Start new tributary backwater at this cross section.
2	NUMST	0	Previous cross section is repeated for current section. GR records are not entered for this cross section.
		+	Total number of stations on the following GR records.
3	STCHL	0	NUMST(X1.2) is 0.
		+	The station of the left bank of the channel. Must be equal to one of the STA(N) on next GR records.
4	STCHR	0	NUMST(X1.2) is 0.
		+	The station of the right bank of the channel. Must be equal to one of the STA(N) on GR records and equal to or greater than STCHL.
5	XLOBL	+	Length of left overbank reach between current cross section and next downstream cross section. Zero for first cross section if IDIR = 0, (J1.4).
6	XLOBR	+	Length of right overbank reach between current cross section and next downstream cross section. Zero for first cross section if IDIR = 0.
7	XLCH	+	Length of channel reach between current cross section and next downstream cross section. Zero for first cross section if IDIR = 0.

X3

HEC-2 Input Description
Cross Section Records

8.5 X3 Record - Optional Items for Each Cross Section (Effective Area, etc.)

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
	IA	X3	Record identification characters.
1	IEARA	0	Total area of cross section described on GR records below the water surface elevation is used in the computations.
		10	Only the channel area (as defined by STCHL, X1.3 and STCHR, X1.4) is used in the computations, unless the water surface elevation exceeds the elevations of the bank stations. This option can be utilized to contain flow between levees until overtopping occurs, if the bank stations are coded at the top of the levees. Overtopping can occur on either side since the elevations of STCHL and STCHR are tested independently. The elevations can also be extended with ELLEA (X3.8) and ELREA (X3.9) to define artificial levees for bridge applications.
2	ELSED	0	A sediment elevation is not specified.
		+ or -	Elevation of sediment deposition. All elevations below ELSED are set equal to ELSED. This elevation is not modified by PXSECE (X1.9).
3	ENCFP	0	Width between encroachments is not changed or is not specified.
		+	Width between encroachments is centered in the channel, midway between the left and right overbanks. Flow areas outside this width are not included in the computations. This width will be used for all cross sections unless changed by a positive ENCFP on the X3 record of another cross section or on an ET record or unless overridden by the use of STENCL (X3.4).
4	STENCL	0	Encroachments by specifying station and/or elevation will not be used on the left overbank.
		+	Station of the left encroachment. Flow areas to the left of (less than) this station and below ELENCL are not included in the computations. This option will override the option using ENCFP when both are used.

NH

HEC-2 Input Description
Change Records

7.3 NH Record - Horizontal Variations of Manning's 'n' (optional)

Used to permanently change the roughness coefficients (Manning's 'n') to values which vary with horizontal distances from the left side of the cross section. Roughness coefficients should be redefined for each cross section with new geometry. **The NH record should not be used to cross sections employing the NV record or when utilizing the channel improvement (CI) option.** If 'n' values change within the channel, the criterion described in Section 2.3 (page 4) is used to determine whether 'n' values should be converted to a composite value using Equation 5.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	NH	Record identification characters.
1	NUMNH	1-20	Total number of Manning's 'n' values (maximum 20) entered on NH records. If NUMNH is greater than four, multiple NH records are required and, the first field of the second and subsequent NH record, should contain a STN(N) value.
2,4,6, 8,10...etc	VALN(N)	+	Manning's 'n' coefficient between stations STN(N-1) and STN(N). The first 'n' value applies from the starting left station up to STN(N) (Field 3).
3,5,7, 9,11...etc	STN(N)	+	Station corresponding to VALN(N). Each stations should equal one of the stations on the next GR records. Stations must be in increasing order. Station values will not be adjusted by X1.8 PXSECR.

6.4 J2 Record - Optional Features

Optional record for first profile, required record for all subsequent profiles.

FIELD	VARIABLE	VALUE	DESCRIPTION
0	IA	J2	Record identification characters.
1	NPROF	0 or 1	Data records will be read NC - EJ.
		-1	Calls for summary printout for a single profile run.
		2-14	Profile number using cross section data from first profile. Up to 14 profiles can be computed using the initial cross section data records NC - EJ.
2	IPLOT	0	No cross sections will be plotted for this job unless individual plots are specified by using IPLOT on X1 record (X1.10).
		1	Line printer plots for all cross sections in this job.
		10	Same as above except, data points will be plotted only up to the water surface elevation.
3	PRFVS	0	Computer selects vertical scale of profile plot for current profile based on an elevation spread not exceeding 12 inches.
		+	Users selects vertical scale to be used for current profile. Enter number of elevation units per inch.
		-	No profile will be plotted.
4	XSECV	0	Computer selects vertical scale of cross section plot for each cross section individually.
		+	User selects vertical scale to be used for all cross sections. Enter number of elevation units per inch.

บทปฏิบัติการที่ 5

การคำนวณ Water Surface Profile ด้วย HEC-2

Purpose

The purpose of this workshop problem is to provide an understanding of how an input file for a basic water surface profile model is constructed and executed with HEC-2.

Problem Statement

Three water surface profiles computation is needed for a reach of the Red Fox River between cross sections 1 and 4 (Fig.5.5). Cross-sectional plots are shown in Fig.5.7 A discharge rating curve is shown in Fig.5.6. Area-elevation curves and hydraulic radius-elevation curves are shown in Fig.5.8. The distances between cross sections are as follows:

Cross sections	distance, ft.
1 to 2	500
2 to 3	400
3 to 4	400

An incomplete data input file is shown in Fig.5.9 for a multiple profile run with discharges of 1,000, 6,500 and 10,000 ft^3/s.

Tasks

Add the data necessary to complete this input file. Assume that the contraction and expansion coefficients are 0.3 and 0.1, respectively, for all reaches. Assume that the overbank reach lengths are equal to the channel reach length. No interpolated cross sections are to be used, and cross section-plots are not required. Standard output should be specified, including and input listing and a summary output table, Use the program COED or some other suitable editor to make the entries in the input file.

After the input file is completed, use the program EDIT2 or a similar error-checking program to check it for errors, and correct any errors that are identified. Run HEC-2 using the completed input file, and compare the results for the 6,500 ft^3/s profile with the results from hand calculation in Fig. 5.10

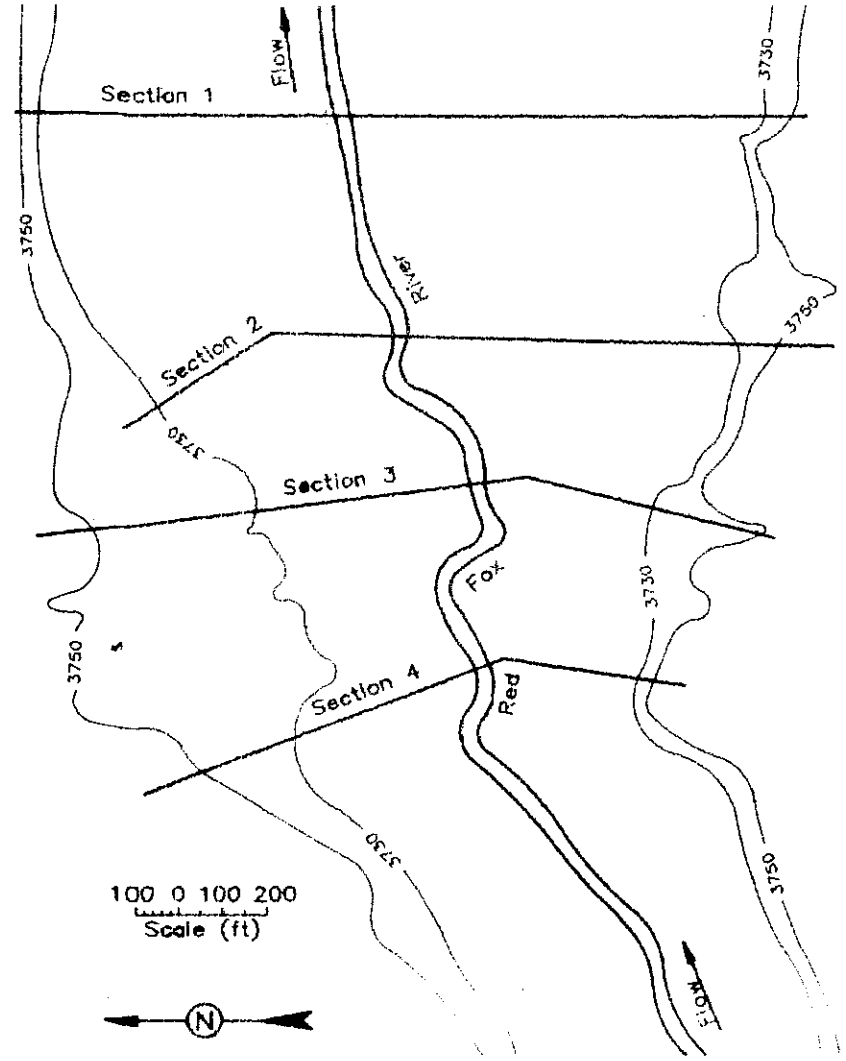


Figure 5.5 Map of the Red Fox River indicating cross sections for water surface profile analysis.

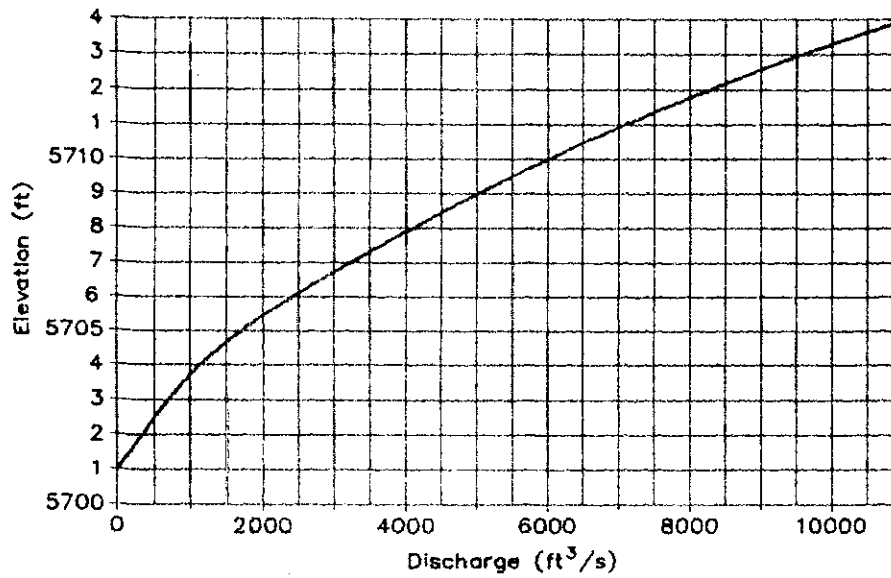
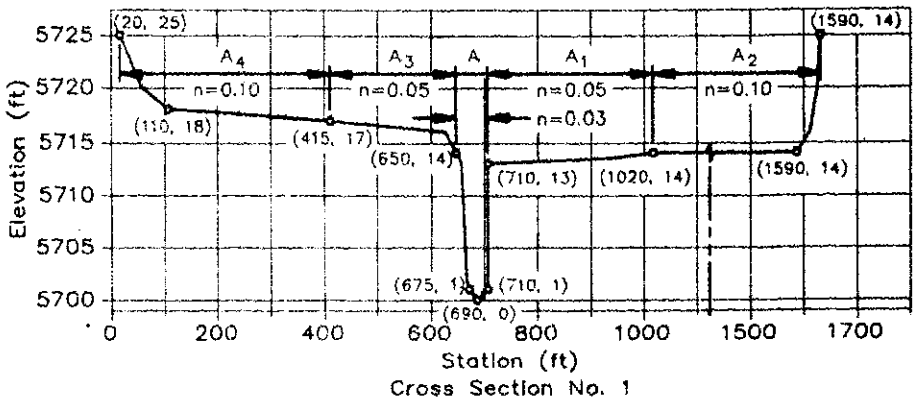
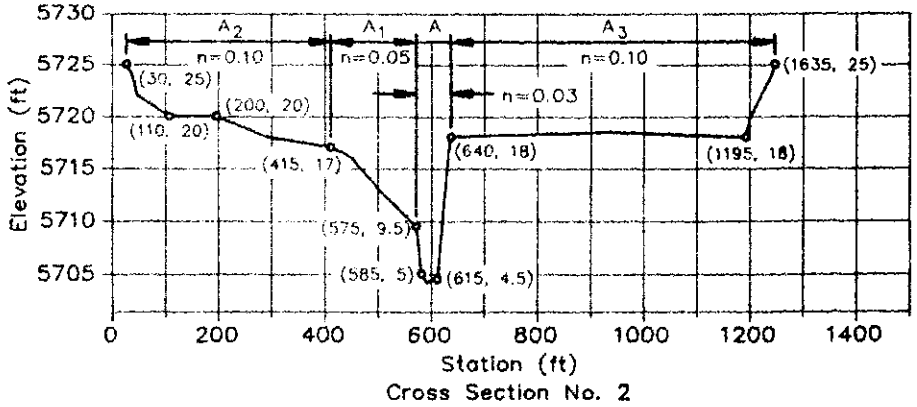
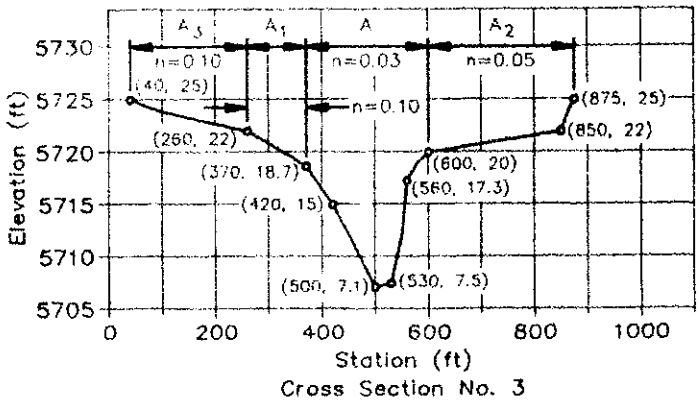


Figure 5.6 Discharge rating curve for cross section 1.







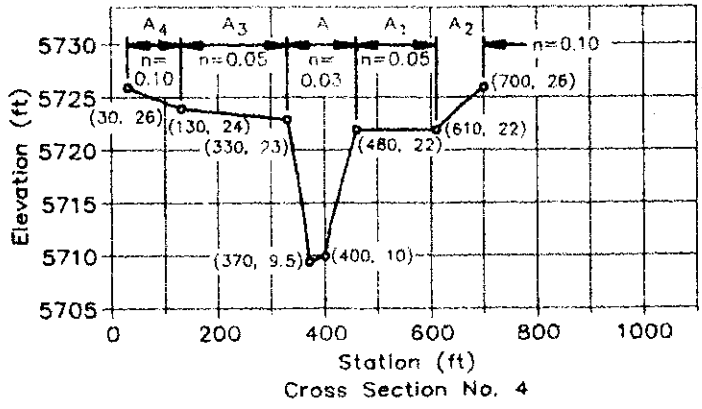
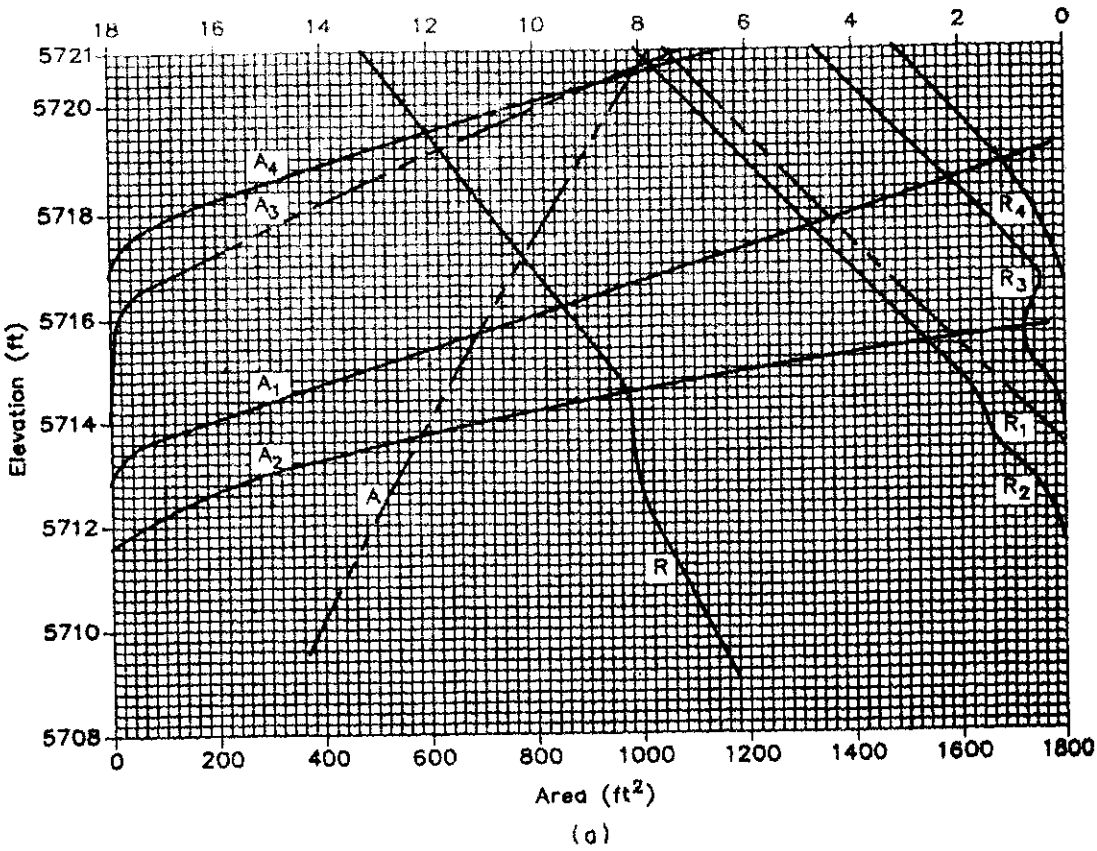
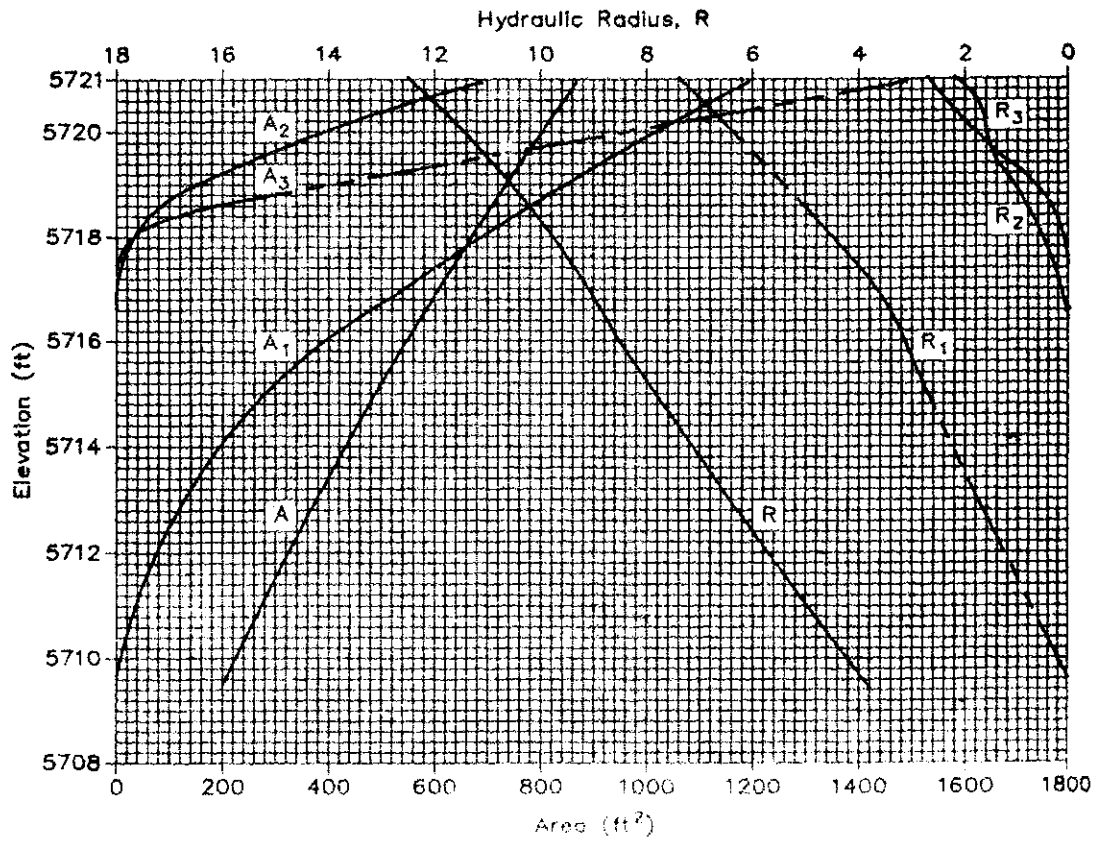


Figure 5.7 Cross sections of the Red Fox River.

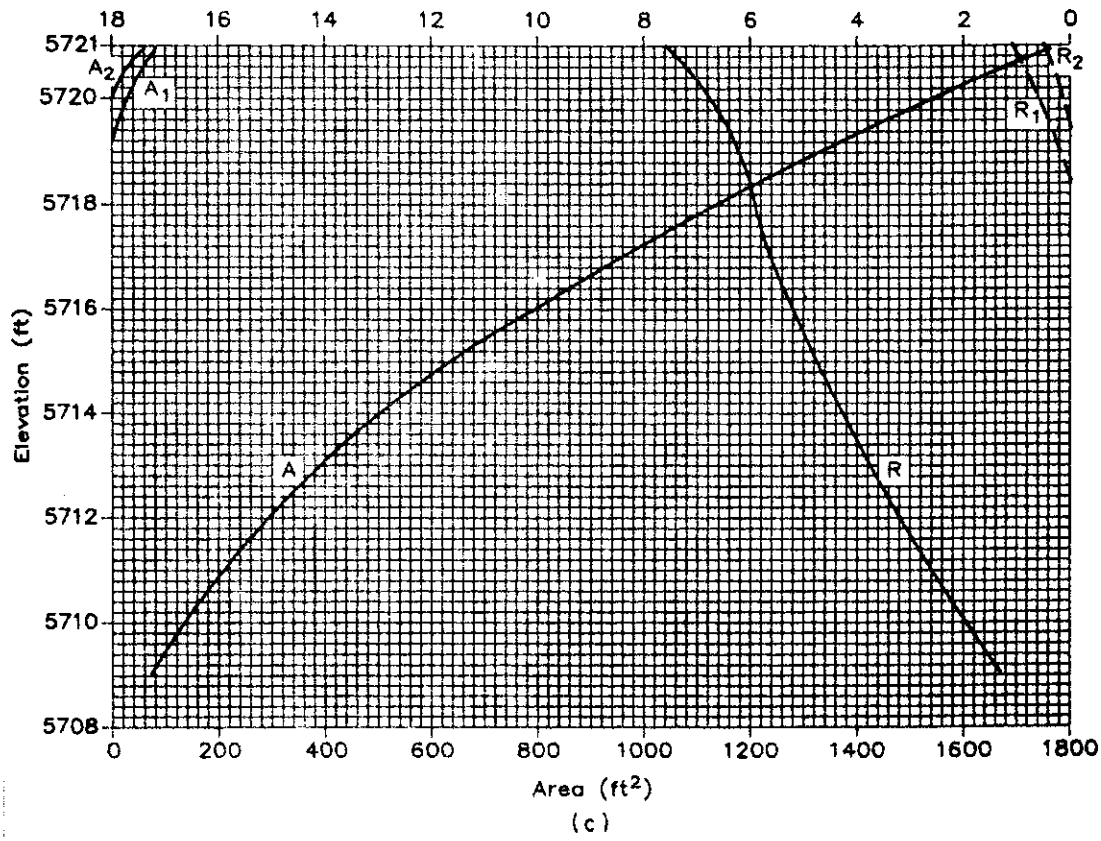


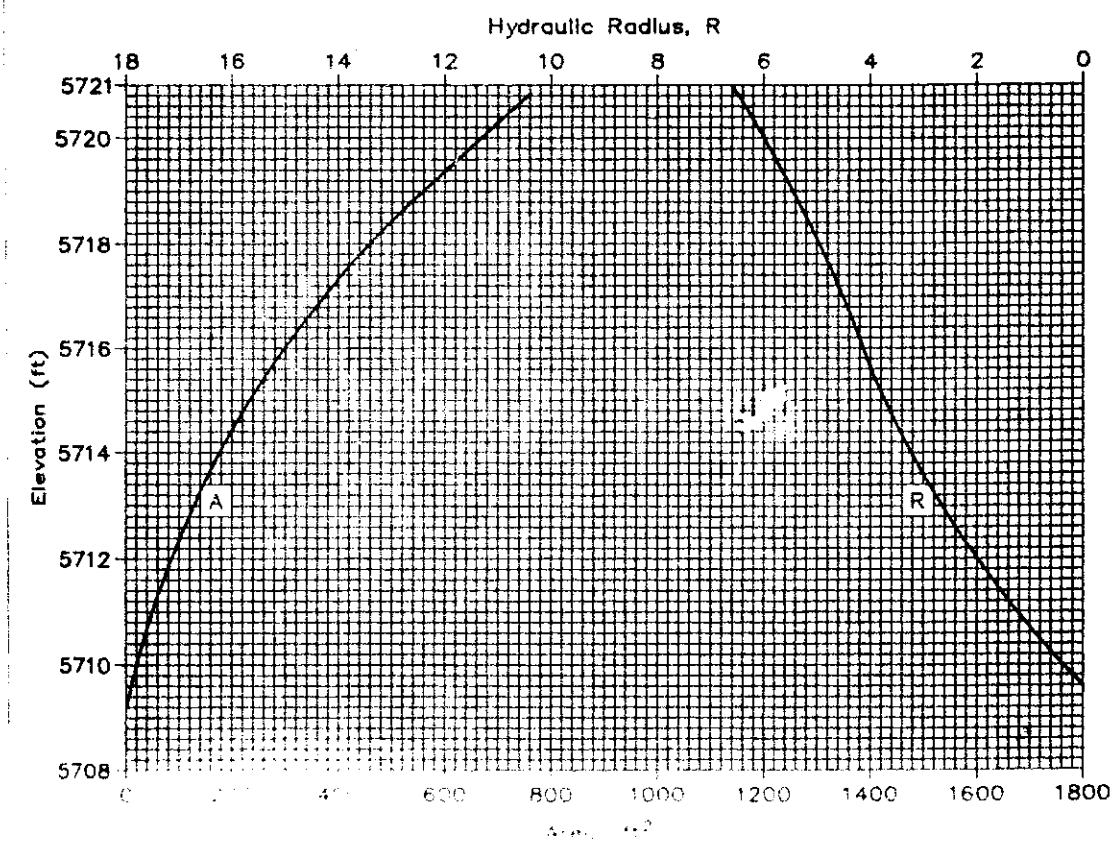
(a)



(b)

Figure 5.8 Area-elevation and hydraulic radius–elevation curves for cross sections 1 to 4. (*a*) Cross section 1; (*b*) cross section 2; (*c*) cross section 3; (*d*) cross section 4.


18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
5721
5720
5718
5716
5714
5712
5710
5708
A2
A1
R2
R1
A
R
Elevation (ft)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
Area (ft2)
(c)


Hydraulic Radius, R
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
5721
5720
5718
5716
5714
5712
5710
5708
A
R
Elevation (ft)
600
800
1000
1200
1400
1600
1800

รูปที่ 5.8 (ต่อ)

```
T1      RED FOX RIVER
T2      WATER SURFACE PROFILE COMPUTATIONS WITH HEC-2
T3      Q = 1000 CFS
J1     0       2       0       0       0       0       0       0     3.8       0
QT     3    1000    6500   10000       0       0       0       0       0       0
NC     0       0       0      .1      .3       0       0       0       0       0
NH     5      .1     415    .050     650    .030     710    .050    1020      .1
NH  1635       0       0       0       0       0       0       0       0       0
X1     1      11     650     710       0       0       0       0       0       0
GR    25      20      18     110      17     415      14     650       1     675
GR     0     690       1     710      13     710      14    1020      14    1590
GR    25    1635       0       0       0       0       0       0       0       0
NH     4    .100     415    .050     575    .030     640    .100    1250       0
X1     2      10     575     640     500     500     500       0       0       0
GR    25      30      20     110      20     200      17     415      10     575
GR     4     580       4     615      18     640      18    1195      25    1250
T1      RED FOX RIVER
T2      WATER SURFACE PROFILE COMPUTATIONS WITH HEC-2
T3      Q = 10000 CFS
J1     0       4       0       0       0       0       0       0    13.4       0
J2  15.0

ER
```

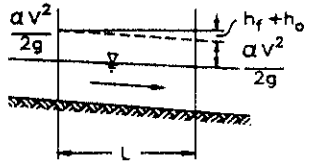
Figure 5.9 Incomplete HEC-2 input file for Red Fox River water surface profile computation.

Water Surface Profile Calculations

Project: Red Fox River

Q = 6500 cfs

C_e = 0.3 C_c = 0.1



Cross Section No.	Water Surface Elevation		Area	Hydraulic Radius														Δ(Water Surface Elevation)
	Assumed	Computed	A	R	$R^{2/3}$	n	K	$\bar{K}$	$\bar{S}_f$ (10^{-3})	L	h_f	K^3/A^2 (10^9)	α	V	$\frac{\alpha V^2}{2g}$	$\Delta\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)$	h_o	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)
1		5710.5	415	7.0	3.66	0.030	75,236	–					1.00	15.66	3.73			
2	5714.7		470	7.6	3.87	0.030	90,096					3.3107						
			250	2.5	1.84	0.050	13,671					0.0409						
		5715.1	720				103,767	89,502	5.27	500	2.64	3.3516	1.56	9.03	1.98	+1.75	0.18	4.57
	5715.1																	
			500	7.8	3.93	0.030	97,333					3.6884						
			280	2.7	1.94	0.050	16,144					0.0537						
		5715.1	780				113,477	94,357	4.74	500	2.37	3.7421	1.56	8.33	1.68	+2.05	0.21	4.63
3	5718.0	5717.1	1135	5.9	3.27	0.030	183,840	148,659	1.91	400	0.76	–	1.00	5.73	0.51	+1.17	0.12	2.05
	5717.1	5717.2	980	5.6	3.15	0.030	152,909	133,193	2.38	400	0.95	–	1.00	6.63	0.68	+1.00	0.10	2.05
4	5719.5	5717.7	610	5.7	3.19	0.036	80,322	116,616	3.11	400	1.24	–	1.00	10.66	1.76	−1.08	0.32	0.48
	5717.7	5716.8	425	4.8	2.85	0.036	49,998	101,454	4.10	400	1.64	–	1.00	15.29	3.63	−2.95	0.89	−0.42
	5716.8	5715.8	355	4.5	2.73	0.036	40,004	96,457	4.54	400	1.82	–	1.00	18.31	5.21	−4.53	1.36	−1.35
	5715.8	5714.0	285	4.1	2.56	0.036	30,116	91,513	5.05	400	2.02	–	1.00	22.81	8.08	−7.40	2.22	−3.16

(8) $K = \frac{1.486\ AR^{2/3}}{n}$

(9) $\bar{K} = \frac{K_{upstream} + K_{downstream}}{2}$

(10) $\bar{S}_f = \left(\frac{Q}{\bar{K}}\right)^2$

(12) $h_f = L\,\bar{S}_f$

(14) $\alpha = \frac{(A_t)^2\ \Sigma\ (K_i^3/A_i^2)}{(K_t)^3}$

Where: i = incremental value
t = total value

(15) $V = Q/A_t$

(17) $\Delta\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) = \left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)_{downstream} - \left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)_{upstream}$

(18a) $h_o = C_e \left|\Delta\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)\right|$ for $\Delta\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) < 0$

(18b) $h_o = C_c \left|\Delta\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)\right|$ for $\Delta\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) > 0$

(19) Δ (Water Surface Elevation) $= \Delta\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) + h_f + h_o$

Figure 5.10 Tabulation of water surface profile computations for the Red Fox River.

บทที่ 6

การวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บ ด้วย HEC-3

Reservoir System Analysis for Conservation

6.1 คำนำ

HEC-3 ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้จำลองการปฏิบัติงานของระบบอ่างเก็บน้ำ (Operation of Reservoir System) ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการอุปโภค-บริโภค การชลประทาน การสัญจรทางน้ำ ควบคุมคุณภาพน้ำ (Low flow augmentation) และการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับการควบคุมน้ำท่วมได้บ้าง แต่ไม่ดีเท่า HEC- 5 (Reservoir system Operation for Flood Control) ซึ่งพัฒนาขึ้นมาเพื่อการจำลองเกี่ยวกับการควบคุมน้ำท่วมโดยตรง ในการ Run HEC-3 จะสามารถป้อนข้อมูลเกี่ยวกับอ่างเก็บน้ำ การผันน้ำ การผลิตกระแสไฟฟ้าพลังน้ำ และจุดควบคุมในลำน้ำ (Stream Control Print) ได้ทุกรูปแบบ และสามารถประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ว่าตรงตามเป้าหมายที่กำหนดหรือไม่

6.2 รายละเอียด HEC-3

HEC-3 พิจารณาว่าระบบอ่างเก็บน้ำมี 5 องค์ประกอบคือ

(1) Hydrology

(2) Reservoirs

(3) Control Points

(4) Powerplants และ

(5) Diversions

6.2.1 Hydrologic Characteristics ซึ่งได้แก่

(1) inflow โดยจะต้องระบุ

- จำนวนปีของข้อมูล
- จำนวน period ในแต่ละปี
- จำนวนวันในแต่ละ period

ปกติจะวิเคราะห์เป็นรายเดือน

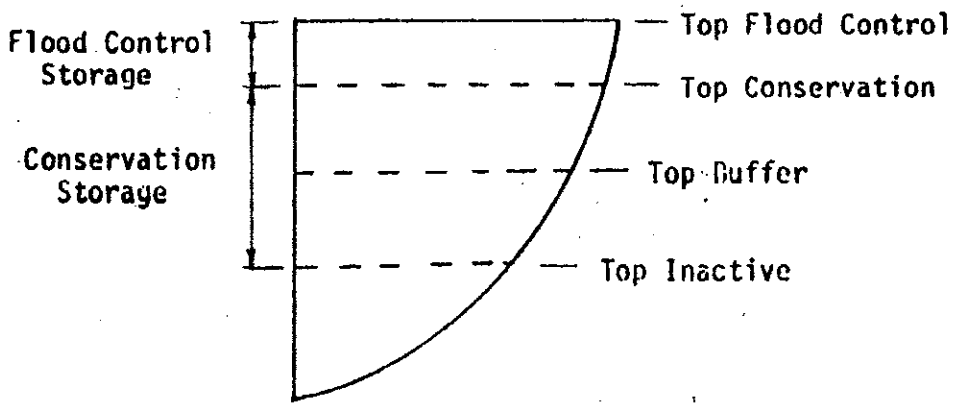
(2) local flow หมายถึง flow ระหว่าง control point 2 จุด regulated flow จะเท่ากับ reservoir release + cumulative local flow

(3) evaporation ซึ่งจะ input เข้า HEC-3 โดยการระบุ net evaporation rate (ผลต่างระหว่าง evaporation และ rainfall)

6.2.2 Reservoir Characteristics

(1) elevation, storage, surface area, outlet capacity

(2) operating criteria ในการ Operate อ่างเก็บน้ำจะต้องมีการกำหนดระดับและโซนการใช้งานต่าง ๆ ของอ่างเก็บน้ำ ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 Reservoir Storage Levels

แต่ละอ่างเก็บน้ำจะต้องมีการ Operate เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการน้ำ (Stream-flow Target) ที่จุดต่าง ๆ ในระบบส่งน้ำ และต้องมีการกำหนด Priority ในการนำเอาน้ำไปใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอ่าง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในหัวข้อ 6.3

Operating Criteria อื่น ๆ ที่อาจระบุเช่น ระดับเก็บกักเริ่มต้น และการกำหนดว่าถ้าระดับน้ำสูงถึง Flood Control Level จะปล่อยน้ำผ่านทางระบายน้ำล้น หรือเก็บกักไว้ใน Surcharge Storage

(3) Hydrologic Balance

สมการสมดุลของน้ำในอ่าง

$$S_i = S_{i-1} + I_i - Q_i - E_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6.1)$$

เมื่อ S_i = reservoir storage volume at end of period i

S_{i-1} = reservoir storage volume at end of pervious period i-1

I_i = infow volume during period i

Q_i = release volume during period i

และ E_i = net evaporation volume during period i

6.2.3 Control Point Characteristics

Control point คือจุดในลุ่มน้ำซึ่งจะต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำเพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายตามขีดจำกัดของระบบ Control point มี 3 ชนิดคือ

(1) maximum permissible flow

(2) minimum desired flow

(3) minimum required flow

ซึ่งอาจมีค่าคงที่หรือเปรผันในแต่ละเดือนแต่ละช่วงเวลาก็ได้

แต่ละ Control point จะต้องมีเบอร์และชื่อ

6.2.4 Powerplant Characteristics

(1) สมการสำหรับคำนวณ Power

$$GE_i = K.Q_i\ h_i\ e_i\ t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6.2)$$

เมื่อ K = 0.08464 สำหรับระบบอังกฤษ

= 9.817 สำหรับระบบเมตริก

GE_i = energy เป็น Kilowatt-hours ที่ผลิตได้ในช่วงเวลา i

Q_i = average flow ที่ไหลผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็น cfs ในช่วงเวลา i

h_i = average effective head on the turbine เป็นฟุต ในช่วงเวลา i

e_i = efficiency of generating units ในช่วงเวลา i

t = จำนวนชั่วโมง ในช่วงเวลา i

(2) Powerplant characteristics ที่ใช้ในการ Simulate Power Operations ได้แก่

- installed powerplant nameplate capacity
- maximum plant factor for generation
- powerplant efficiency
- tailwater elevation plus hydraulic loss
- overload ratio for power installation
- power load requirements for each plant for each time period

นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตกระแสไฟฟ้าและคุณสมบัติของอ่าง ได้แก่

- power releases vs. power tailwater elevation
- maximum peaking capability vs. reservoir storage or reservoir release
- powerplant efficiency vs. reservoir storage

6.2.5 Diversions

Diversion ที่ Control point อาจอยู่ในรูปของปริมาณน้ำที่ถูกผัน หรืออยู่ในรูปของฟังค์ชั่นของปริมาณการไหลของน้ำตามธรรมชาติ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่าง (Regulated flow) หรือปริมาณน้ำในอ่าง Diversion requirements อาจมีค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลา หรือเปรผันในแต่ละช่วงเวลาของปี

6.2.6 Economic Evaluation

(1) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่แต่ละ Control point ทำได้โดยการระบุฟังค์ชั่นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางด้านอุทกวิทยาเช่น อัตราการไหลของน้ำ ปริมาณน้ำในอ่าง ปริมาณการผลิตกระแสไฟฟ้า กับมูลค่าในทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อ ควบคุมปริมาณทางด้านอุทกวิทยาให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เช่น ในเดือนต่าง ๆ และสามารถคำนวณค่าสะสมตลอดช่วงเวลาที่วิเคราะห์

(2) การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์สุทธิทำได้โดยการเปรียบเทียบผลตอบแทนกรณีมีและไม่มีโครงการ โดยใช้ค่า Unregulated และ regulated flows

6.2.7 System Operation

(1) การจำลองการปฏิบัติงานอ่างพิจารณาจากความต้องการน้ำและพลังงานที่ Control point โดยพิจารณาจุดทางด้านเหนือน้ำไปยังจุดทางด้านท้ายน้ำ

(2) System power กรณีที่มีหลาย powerplants จะต้องมีการระบุทั้งความต้องการพลังงานทั้งระบบและ minimum requirement ของแต่ละ plant และ maximum generation ในรูปของ plant factor

6.3 การกำหนด Reservoir Operating Rule จาก Reservoir Levels

Release priorities ถือเป็นสิ่งสำคัญในการ Operate ระบบอ่างเก็บน้ำ ยกตัวอย่างกรณีที่มีอ่างเก็บน้ำ 4 อ่าง แต่ละอ่างมีปริมาตรเก็บกักที่ระดับต่าง ๆ ดังนี้

Reservoir Storage levels

Reservoir	Storage, Cumulative (AC.FT.)			
No.	Top Inactive	Top Buffer	Top Cons.	Top FC.
1	1,000	5,000	50,000	100,000
2	5,000	10,000	100,000	200,000
3	10,000	20,000	150,000	500,000
4	50,000	100,000	200,000	700,000

ถ้าต้องการ Operate อ่างเก็บน้ำทั้ง 4 ตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

(1) ปล่อยน้ำจากเขต Flood control storage เพื่อลดความเสี่ยงจากน้ำท่วม

(2) ปล่อยน้ำจากเขต Conservation storage ของอ่าง 1 ที่อยู่เหนือเขต Top of buffer เป็นอันดับแรก

(3) ปล่อยน้ำจากเขต Conservation storage ที่อยู่เหนือเขต top of buffer ของอ่าง 2 และ 3 เป็นอันดับต่อไป

(4) ต่อไปคือการปล่อยน้ำจากเขต Conservation storage เหนือเขต top of buffer ของอ่าง 4

(5) ปล่อยน้ำจาก Conservation storage ที่อยู่ต่ำกว่า top of buffer เท่า ๆ กัน

การกำหนด Operating criteria ใน HEC-3 และ HEC-5 ทำได้โดยการให้ค่าตัวเลข 1-8 สำหรับแต่ละ Storage level ของแต่ละอ่าง ในตัวอย่างนี้จะใช้ค่า 1-6 โดยใช้เกณฑ์ดังต่อไปนี้ .-

Level 1 = top of inactive pool ของทั้ง 4 อ่าง

Level 6 = top of flood control pool ของทั้ง 4 อ่าง

ส่วนระดับอื่นมีค่าดังนี้

Level	Res. I	Res. II	Res. III	Res. IV
6	100,000	200,000	500,000	700,000
5	50,000	100,000	150,000	200,000
4	5,000	100,000	150,000	200,000
3	5,000	10,000	20,000	200,000
2	5,000	10,000	20,000	100,000
1	1,000	5,000	10,000	50,000

HEC-3 จะปล่อยน้ำจากอ่างซึ่งมีปริมาตรเก็บกักอยู่ในช่วง Release priority ที่มีระดับสูง (หมายเลข 6) เป็นอันดับแรก และสามารถกำหนด Release priority ของอ่างให้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอ่างได้ ดังรูปที่ 6.2

Level	Res. I	Res. II	Res. III	Res. IV
Top of Flood Control	6	6	6	6
Top of Conservation	5	4,5	4,5	3,4,5
Top of Buffer	2,3,4	2,3	2,3	2
Top of Inactive	1	1	1	1

รูปที่ 6.2 Reservoir System Priority of Operation (HEC. 1974)

6.4. Input Data Cards

A. Title cards : T1, T2, T3

B. Job cards : J1, ... J9

System Specification Cards (3 Subsets)

C. Subset 1 : required for all control points (cards CP - QM)

D. Subset 2 : required only when there is a reservoir located at control point. (Cards R1 - RE)

E. Subset 3 : required only when there is a power installation at control point. (Cards P1-PE)

F. End of Control Point Data Card (Card ED)

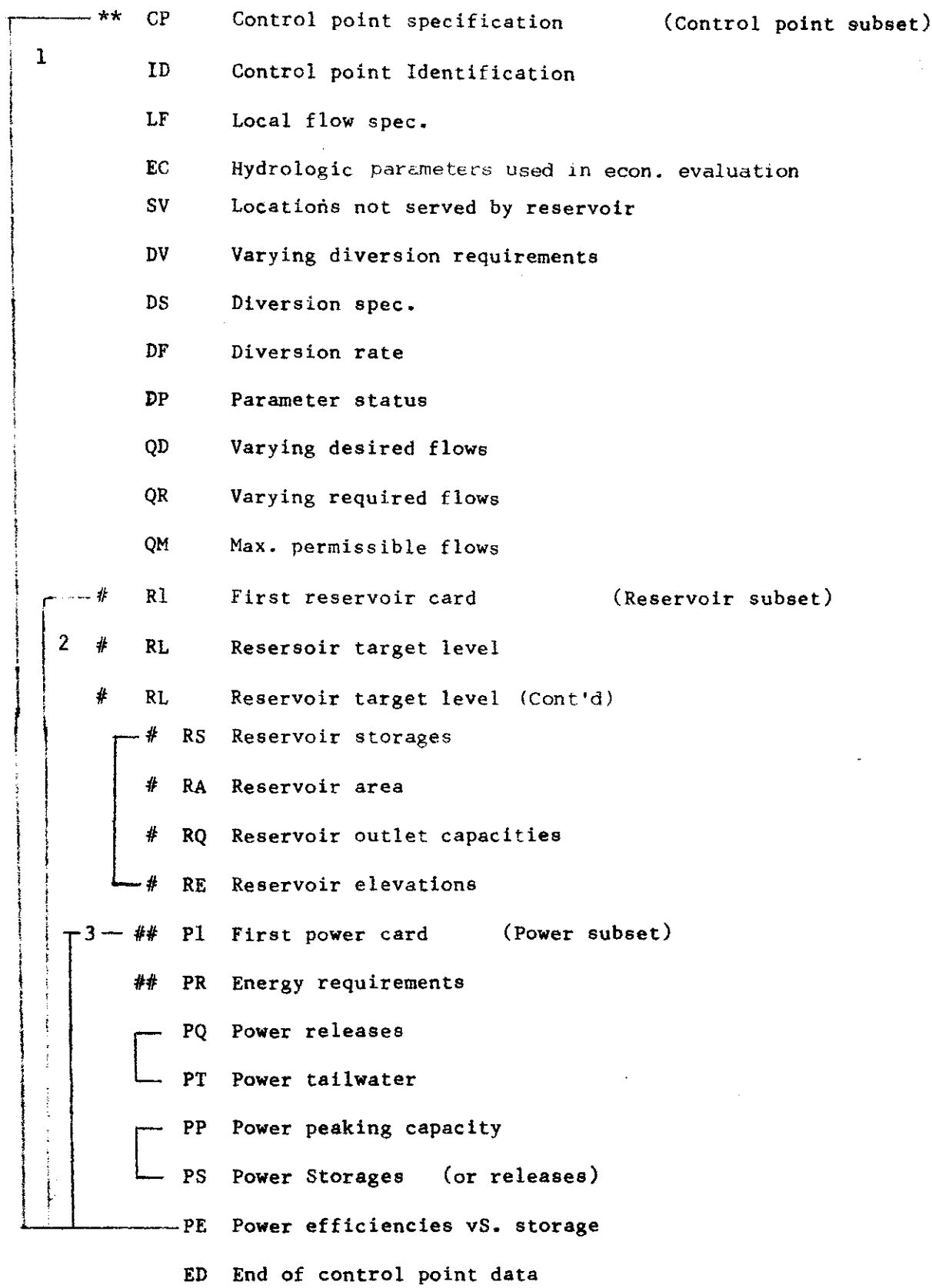
G. Annual Data (Cards IN - YL)

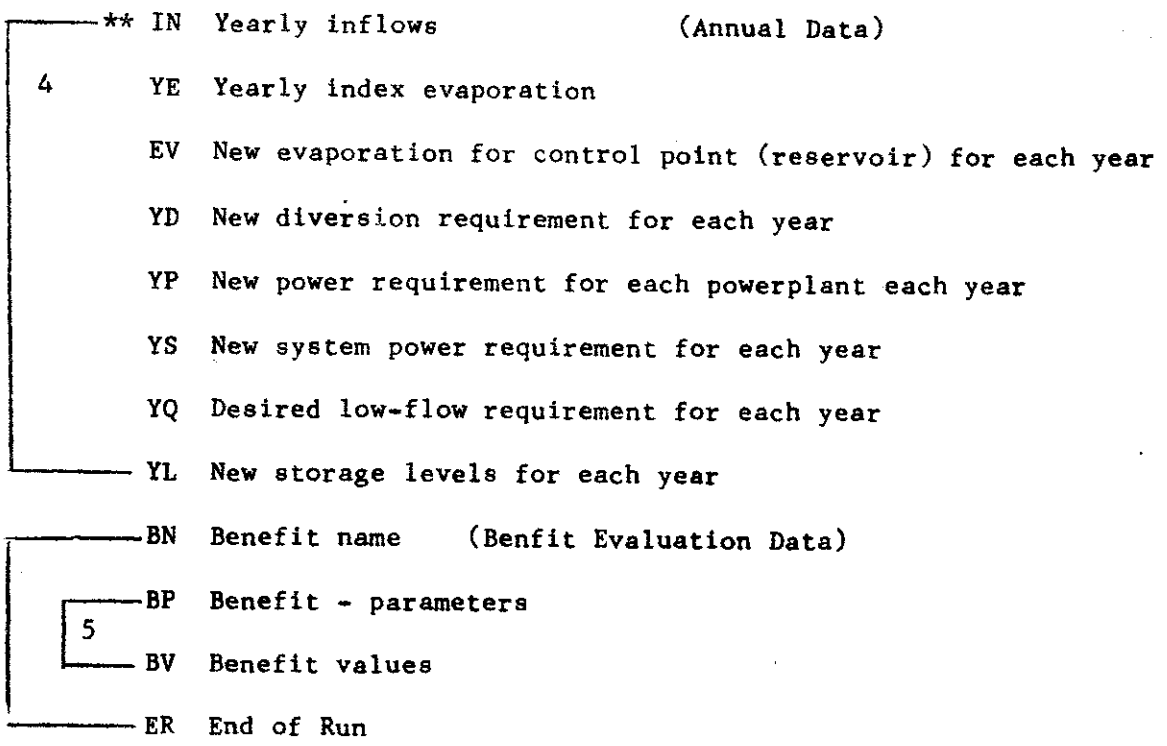
H. Benefit Evaluation Data (Cards BN - BV)

I. End of Run (Card ER)

Summary of Input Cards

**	T1	Title Cards
**	T2	
**	T3	
**	J1	First job card
	J2	Constants and input and output units
	J3	Output options
	J4	Output rearrangement
	J5	Routing time interval
	J6	Period names
	J7	Length of periods
	J8	System evaporation
	J9	System power


** CP Control point specification (Control point subset)
1
ID Control point Identification
LF Local flow spec.
EC Hydrologic parameters used in econ. evaluation
SV Locations not served by reservoir
DV Varying diversion requirements
DS Diversion spec.
DF Diversion rate
DP Parameter status
QD Varying desired flows
QR Varying required flows
QM Max. permissible flows
R1 First reservoir card (Reservoir subset)
2 # RL Resersoir target level
RL Reservoir target level (Cont'd)
RS Reservoir storages
RA Reservoir area
RQ Reservoir outlet capacities
RE Reservoir elevations
3 ## P1 First power card (Power subset)
PR Energy requirements
PQ Power releases
PT Power tailwater
PP Power peaking capacity
PS Power Storages (or releases)
PE Power efficiencies vS. storage
ED End of control point data



Note

** Required cards

Blank Optional

\# Required for all reservoir

Required for all reservoir with powerplants

1. Control point cards (CP-PE) are repeated, as required, for each control point in turn in downstream order
2. Reservoir cards (R1-PE) are used, as required, for all reservoirs.
3. Power cards (P1-PE) are used, as required, for all powerplants.
4. Annual cards (IN-YL) are repeated, as required, for each year.
5. Cards BP and BV must be supplied in pairs for each successive sequence month for all control points having positive indicator on EC card for each economic function in turn.

6.5. Output Data Description รายละเอียดของ Standard Output มีดังนี้

6.5.1 Printout of Input Data ของแต่ละ Control point จะถูกจัดเรียงจากเหนือน้ำไปยังท้ายน้ำ

6.5.2 Monthly Reservoir Operation Data Arranged by Year และในแต่ละปีจะแสดงผลการ Simulate ของแต่ละเดือนและแต่ละ Control point ดังนี้

(1) Annual Input Data

- Inflows

(2) Control point identification

(3) Flow data

- AVG (annual/monthly averages)
- LOC FLOW
- UNREG
- INFLOW
- REQ. DIV.
- DIVERSN (actual diversion)
- SHORTGE (Diff. between REQ. DIV. and DIVERSN)

(4) Reservoir data

- EOP STR (end of period storage)
- EOP EL (end of period elevation)
- EVAPO
- REQ PWR
- SYS 1 (energy requirement for power system 1)
- SHORTGE (Shortage of energy req.)
- SYS SRT (diff. between sys1 and power)
- CASE (first two digit indicates control point and last digit indicates controlling conditions,
  1 = min. Q requirement, 2 = power requirement
  3 = flood control release
  i.e. 2101 (control min.Q ที่ control pt.21)
- LEVEL (end of period storage level)

(5) flow release data

- CSV REL (release to meet conservation requirements downstream)
- RIV FLOW (magnitude of regulated river flow)
- DES FLOW (min. desired flow)

MIN FLOW

SHORTGE (Diff. between DES Flow and RIV FLOW
MIN. FLOW and RIV FLOW)

6.5.3 System Power summary

- REQUIRD (system energy requirement)
- USABLE (total energy generated based upon plant factor)
- TOTAL (total energy generated at powerplants)
- SHORTGE (diff between REQUIRD and USABLE)

6.5.4 Average Values of Data for Simulation Period

ค่าของตัวแปรต่าง ๆ ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาของการ Operate

6.5.5 Shortage and Frequency Data

ดรรชนีของความขาดแคลนซึ่งได้จากผลการคำนวณของ HEC-3 ได้แก่

- DIVERSION SHORTAGE INDEX
- POWER SHORTAGE INDEX
- POWER SYSTEM 1 SHORTAGE INDEX
- DES FLOW SHORTAGE INDEX
- MIN FLOW SHORTAGE INDEX

การดรรชนีความขาดแคลนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{SHORTAGE INDEX} = \frac{100}{N} \sum_{1}^{N} \left(\frac{\text{ANNUAL SHORTAGE}}{\text{ANNUAL REQ.}} \right)^2$$

ยกตัวอย่าง

	1926	1927
Annual diversion shortage	64	0
Annual diversion req.	1,000	1,000
Annual shortage as a ratio	0.064	0
Number of years of operation	2	

$$\text{Diversion shortage index} = \frac{100}{2}\left((0.064)^2 + 0\right)$$

$$= 0.205$$

ถ้า index = 0 แสดงว่าไม่มีการขาดแคลน

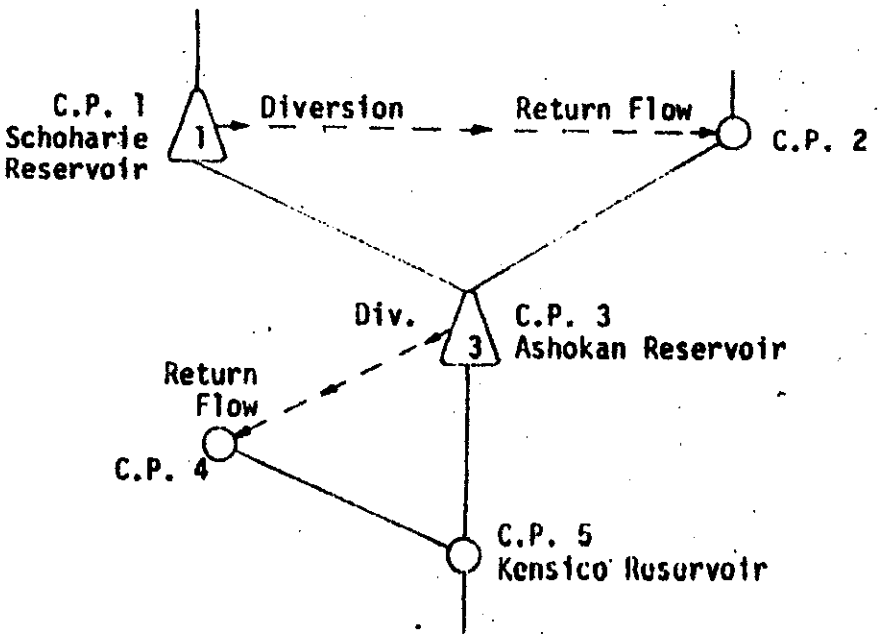
index = 1 อาจเป็นกรณีเกิดการขาดแคลน 10 % ทุกปีในรอบ 100 ปี เป็นต้น

6.6 HEC-3 Example

TEST DATA 1 - DESCRIPTION

General

These test data illustrate the use of this program in simulating the operation of a two-reservoir system to meet downstream flow and diversion requirements.



Hydrologic Data

Average monthly evaporation was obtained for the basin and input on the J8 card. The monthly value was applied to each reservoir by specifying the ratio CEVAP (R1 card, field 1) equal to 1.0.

Streamflow information was available at only one gaging station (6) in the basin; therefore, it was necessary to use drainage area ratios to compute the local (flow below upstream reservoir and control point) monthly flows at each control point by use of the LF card.

Control Point	Ratio to Flow Station 6	Remarks
1	1.330	Inflow to Schoharie Reservoir
2	0.	Receives diversion from CP No. 1; no local flow.
3	1.09	Local flow between Schoharie and Ashokan Reservoirs.
4	0.	Receives diversion from CP No. 3; no local flow.
5	0.	No local flow.

Flow Requirements and Constraints

The following table shows the flow requirements and constraints by control point:

	Control Point				
	1	2	3	4	5
Diversion Requirement (QDV; ID card, field 1)	63	*	52	*	0
Minimum desired flow (QMN; ID card, field 2)	0	0	0	0	**
Minimum required flow (QM2; ID card, field 3)	0	0	0	0	0
Maximum Permissible Flow (QMXX; ID card, field 4)	928	99999***	958	99999	958

*The diversion is actually a return flow and is indicated on the DV card. In both these cases, the return flow is 100 percent of the diversion.

**The minimum desired flow at CP No. 5 varied by month; therefore, a QD card was used for input.

***There is no actual maximum flow constraint, so a large number was used.

Reservoir Data

The reservoir storage has been specified by four levels (NL; J1 card, field 3). The first level is the minimum pool, the second is the top of the buffer zone, the third the top of the conservation storage, and fourth the top of the flood control pool. (See Exhibit 1 for a further description of levels.) There is no buffer storage or flood control storage in this test, but a minimum of four levels must be specified.

	Reservoir Storage	
	Schoharie	Ashokan
Initial Capacity (STORI; R1 card, field 2)	64,166	339,016
Top Flood Control Pool (RL card, Level 4)	66,000	393,000
Top Conservation Pool (RL card, Level 3)	66,000	393,000
Top Buffer Storage (RL card, Level 2)	6,140	6,140
Minimum Pool (RL card, Level 1)	6,140	6,140

```
T1   TEST DATA 1
T2   RESERVOIR SYSTEM ANALYSIS
T3   HEC3PC ,by Dr. Varawoot Vudhivanich, September 1994
J1     5     1928        4         0         0         0         1         0         0
J5    12       10
J8    1.       1.       1.         0         0        1.        2.        2.        3.        3.
J8    2.       2.
CP     1        3         0
ID    63        0         0       928   SCHOHARIE RES.
LF     1        6      1.33
R1    1.    64166         0         0
RL     1        1        -1        10       614
RL     3        1        -1      1000        66
RS     0      123      1070      3530      6140      9660     21200     36800     55200     66000
RA     0       20        80       190       300       440       690       850      1000      1145
RQ   928      928       928       928       928       928       928       928       928       928

RE   980     1000      1020      1040      1050      1060      1080      1100      1120      1130
CP     2        3         0
ID     0        0         0     99999   DOWNSTREAM
LF     1        6         0
DV     1       -1
CP     3        5         0
ID    52        0         0       958   ASHOKAN RES.
LF     1        6      1.09
R1     1   339016         0         0
RL     1        3        -1         1      6140
RL     3        3        -1      1000       393
RS     0     1230      6140     15300     55200    138000    254000    393000
RA     0      150       338      1343      3312      4983      6671      8425
RQ   960      960       960       960       960       960       960       960
RE   404      470       496       510       530       550       570       590
CP     4        5         0
ID     0        0         0     99999   DOWNSTREAM
LF     1        6         0
DV     3       -1
CP     5       -1         0
ID     0        0         0       958   KENSICO INFLOW
LF     1        6         0
QD   592      575       575       551       551       530       534       530       580       643
QD   625      615
ED
IN   628   1060   1527   1546    272    545    578   1031   1030    924    708    343    224
IN   629     63     58    111    343    148   1281   1797    887    251     84     18     47
IN   630    626    557    526    519    371    906    575    295    502     63     29     29
IN   631     20     71     75     49     39    365   1805    917    642    454     91     55
IN   632     25     37    184    697    171    389   1391    404    264     95     28     14
ER
```

6.7 Card Description

B. Job Cards

** J1 Card - First Job Card

Job card which specifies program options and operation priorities.

Field	Variable	Value	Description
1	NYRS	+	Number of years in routing.
2	IYR	+	Number of first year in routing (1935, for example).
3	NL	+	Number of target storage levels at each reservoir. At least four levels are required. Maximum number of levels (limited by dimension) is eight. Levels are described on the RL card.
4	ICONS	0	If ICONS is zero or blank, downstream conservation releases will be restricted to channel capacity to simulate flood control considerations in conservation studies. This is the normal option for conservation studies.
		+	If ICONS is positive, conservation releases are not restricted by downstream channel capacities.
5	IDVSP	0	If IDVSP is zero or blank, uncontrolled spill will be released to the river below a reservoir. This is the normal option.
		+	If IDVSP is positive, uncontrolled spills will be added to diversion if one exists at the reservoir. See Appendix II.
6	IPWPR	0	If IPWPR is zero or blank, power shortages will not be declared within the buffer zone (between levels 1 and 2). This permits power production to share the highest priority throughout the full conservation pool.
		-1	If IPWPR is -1, power shortages are declared when the reservoir storage is within the buffer zone. This gives power a lower priority than other purposes served by water from the buffer storage.

**Required cards

J1 Card (continued)

Field	Variable	Value	Description
7	IDVPR	0	If IDVPR is zero or blank, diversion shortages for diversions from a reservoir will not be declared within the buffer zone. This permits diversions to share the highest priority throughout the full conservation pool.
		-1	If IDVPR is -1, diversion shortages are declared when the reservoir storage is within the buffer zone. This gives diversions a lower priority than other purposes served by water from the buffer storage.
8	IFLOW	0	Maximum yield will not be computed for any control point. This is the normal option for most studies.
		+	Control point number for location where maximum yield is to be computed by iteration process. Maximum yield can be computed for only one control point location per run. See Appendix I.
9	JUPQI	0	Local inflows, read from IN cards and computed by ratios on the LF card, are cumulative flows and are for areas upstream of the control point and downstream of the nearest upstream reservoirs.
		+	Calls for specifying local flows (IN and LF cards) as incremental inflows between adjacent control points.

* J5 Card - Routing Time Interval

Job card which specifies the time intervals to be used in the routing. If omitted, default values in parentheses will be assigned.

Field	Variable	Value	Description
1	NPER (12)	+	Number of routing periods per year. Normal number is 12 for conservation studies. Periods do not have to be of equal length in conservation studies and do not necessarily coincide with calendar months. Output format is designed for 14 or less periods per year.
2	IPERA (1)	+	The identification number of the first routing period in each year (i.e., IPERA is 1 if routing is done and data supplied on a calendar-year basis; IPERA is 10 if routing is done and data supplied on a water-year basis).

* J3 Card - System Evaporation

This card specifies index evaporation rate for the entire system for each period. If NPER (J5 card, field 1) is greater than 10, two cards must be used to describe the evaporation. If omitted, card YE or EV must be given.

Field	Variable	Value	Description
1-12	EVAPO	±	Net index evaporation rate in inches (or mm if METRC is positive). Specify NPER (J5 card, field 1) values in successive order, one value per field. The first value must be the value for period number IPERA (J5 card, field 2). Usually computed as the difference between evaporation and rainfall. Must be supplied as positive when evaporation exceeds rainfall and negative when rainfall exceeds evaporation.

*Optional card

C. Control Point Subset (Cards CP-MQ)

** CP Card - Control Point Specification

The CP card specifies the control point number, the relationship of the control point to the next downstream control point, and the physical components that exist at the control point. It is required for each control point.

Field	Variable	Value	Description
1	M	+	Control point number. Must be an integer between 1 and 40 (limited by dimension) or between 1 & 30 if a reservoir. Control point numbers do not have to be in numerical order.
2	MDNST	+	Control point number of the next downstream control point.
		-1	Use -1 when it is the most downstream control point.
3	IPRN	0	Zero or blank indicates that standard output printout is desired for this control point.
		-1	Value of -1 indicates that standard output printout for this control point should be suppressed. If -1 is specified, only summary data will be printed for this control point.
4-10			Not used.

**Required card

** ID Card - Control Point Identification

The ID card is required for each control point. It specifies diversion and minimum flow requirements, maximum flow capability, and the control point name.

Field	Variable	Value	Description
1	QDV[1]	+	Diversion requirements at this control point. This value will be used for all routing periods. Requirements that vary from period to period are specified on the DV card.
2	QMN[1]	+	Minimum desired flow at this control point. This is the flow requirement which will be met at all times when the storage level in upstream reservoirs exceeds the top of the buffer zone (see RL card). The purpose of this constraint is to permit a flow requirement somewhat higher than the absolute minimum to be used when reservoir storage levels are not critically low. If QMN is specified as a positive value in this field, that positive value will be used for all routing periods. Minimum desired flows that vary from period to period within a year are specified on the QD card.
3	QM2[1]	+	Minimum required flow at this control point. Reservoir releases will be made to maintain this flow requirement as long as there is any useable storage (between levels 1 and 2) in upstream reservoirs. Minimum required flows at this control point that vary from period to period within a year are specified on the QR card.
4	QMXX[1]	+	Maximum permissible flow at this control point. Usually the nondamaging channel capacity is specified. Reservoir releases that would cause streamflow at this point to exceed this value will not be permitted until reservoir storage exceeds the top of the flood control pool (the highest level from field 3 of JI card). If maximum permissible flows at this control point vary from period to period, they are specified on the QM card.
5-8	CPT	Alpha	Control point identification or name. Both alphabetic and numeric characters can be used. It is not necessary to include the control point number in the station identification. Limit is 32 characters including blanks.
9-10			Not used.

* LF Card - Local Flow Specification

This card specifies the identification number of the flow data (IN cards) used to compute either cumulative (JUPQI = 0, on J1 card) or incremental (JUPQI = 1) local flows for this control point and the ratios used in the computation. If NFLW is greater than 4, two or more cards will be required. Omit if there is no computation required to obtain local flow. This can occur if: (1) IN cards are provided for this control point that represent flows between this control point and control points immediately upstream (JUPQI = 1); or (2) IN cards are provided for this control point that represent flows between this control point and all reservoirs immediately upstream (JUPQI = 0). Omission of this card requires the flow data (IN card) to have the same identification as this control point (CP card, field 1)

Field	Variable	Value	Description
1	NFLW	+	Number of flow locations involved in computing local flow, either cumulative or incremental (based on JUPQI), for this control point. This will be positive if: (1) no flows are provided as input on IN cards for this control point and cumulative or incremental local flow is to be calculated by a ratio (such as drainage area ratio) times some single input flow data location (NFLW = 1) or some combination of multiple input flow data locations (NFLW > 1); or (2) if flows provided as input on IN cards for this control point, are total flows at this control point rather than incremental or cumulative local flows. The summation of all NFLW for all control points must not exceed 90 (dimension limit).
2	MQ	+	Identification number of first flow station involved in computing local flows for this control point (must equal an M on IN cards). Identification numbers for flow stations do not have to correspond to control point numbers, but they must be integers and less than 40. See description for variable M (IN card, field 1).
3	RTIO	±	Ratio by which flow data for station MQ in preceding field is to be multiplied to obtain local flow at this control point. Negative value indicates flow at station MQ should be multiplied by RTIO and then subtracted from other flows involved in the computation.
4-9			Repeat values of MQ and RTIO until NFLW pairs have been specified. For example, to calculate cumulative or incremental local flows between a control point and two immediately upstream reservoirs where the input flow for the control point is the total flow and where the flow identification number for the control point is 7, and the flow identification numbers for the two upstream reservoirs are 2 and 5, the input values would be 7, 1.0; 2, -1.0; 5, -1 in fields 2-7, respectively.
10	MQ(5)	+	Every fifth pair of MQ and RTIO will be split between the tenth field of one card and first field of the next card.

6. Reservoir Subset (cards R1-RE)

R1 Card - First Reservoir Card

This card specifies some physical characteristics of a reservoir at this control point. Omit cards R1-PR if there is no reservoir at this control point; then the next card will be CP card for next control point, or ED card of this is the most downstream control point in the system.

Field	Variable	Value	Description
1	CEVAP	+	Ratio of net reservoir evaporation at this reservoir to index evaporation (J8, YE or EV cards).
2	STOR1	+	Initial storage in standard volume units (acre-feet or thousand cubic meters).
		-1	If this is a second set of data following a complete data set in which IUPDT (J3 card, field 4) was positive and if routing is to continue using ending storage from last period of prior routing, specify -1.
3	QLKG	+	Leakage through or under dam or powerhouse in standard flow units (cfs or m^3/sec). Normally only used to specify water which continuously passes the dam but cannot be used for power generation.
4	ISRCH	0	If zero or blank, no spillway surcharge allowed, and excess flood flows will be spilled when storage exceeds top of flood control pool (J1, field 3).
		+	Positive value allows spillway surcharge. The flood releases above top of flood control pool will be limited to the specified outflow capacity (RS and RQ cards).
5-10			Not used.

#Required for all reservoirs.

RL Card - Reservoir Target Levels

This set of cards specifies NL (J1 card, field 3) target storage levels for this reservoir. At least four levels are required. The lowest level is always the bottom of the conservation pool, and the second level is always the top of the buffer storage zone. If there is no buffer storage, target storages for levels 1 and 2 will be identical each period. The highest level (level NL) is always the full pool level (top of flood control). In conservation routings, the second highest level is always the top of the conservation pool. In a reservoir with no flood control storage the two highest levels will be identical for each period. For reservoirs with no active storage (such as run-of-river power projects) all levels will be identical for all periods. In the case of a run-of-river power project the storage value specified for all levels should be the storage corresponding to the pool elevation at which the average head can be developed. If more than one card is required to specify the storages at any one level, the values on the second card should start in field 5. The cards for each level can be read in any order. When cards are omitted for a given level, storages are assumed equal to the next lower level.

Field	Variable	Value	Description
1	L	+	Level number.
2	M	+	Control point number. Must correspond to it on CP card, field 1.
3	IRPT	0	Storages will be read for all periods. Two RL cards are required if NPER (J5 card, field 1) is greater than 6.
		-1	The STORL value specified in field 5 (multiplied by FACTR) will be repeated for the entire NPER periods. Only one card per level is required.
4	FACTR	0	Default value of 1.0 is assigned.
		+	Factor by which STORL will be multiplied.
5-10	STORL	+	Storage in acre-feet (or thousand cubic meters) for target level. Used to balance storage among reservoirs in supplying system water and power demands, Beginning with the lowest level, specify a storage value for each period until NPER (J5 card, field 1) values have been specified for that level. The first value, which will appear in field 5, must be the storage level for period number IPERA (J5 card, field 2). If more than six values are used, the remaining values start in field 5 of the following card. Fields 1 through 4 of the second RL cards of the same level are left blank.

#Required for all reservoirs.

RS Card[1] - Reservoir Storages

This card specifies the reservoir storage capacity table. As many as ten (limited by dimension) values may be used.

Field	Variable	Value	Description
1-10	STOR	+	Reservoir storage capacity in acre-feet (or thousand cubic meters). Specify up to ten values, beginning with the smallest value in field 1. Each value must be equal to or larger than the preceding one. The smallest value should be smaller than the storage for the lowest level, and the largest value should be as large or larger than the storage for the largest level. If ten values are not needed, the unneeded fields should be left blank. Since the program interpolates linearly in this table and in the tables on the RE, RA and RQ cards, and since the values on the RE, RA and RQ cards must correspond to the storage values on this card, the storage values should be selected so as to make linear interpolation relatively accurate between any two points on any of the four tables. Storage values should be selected to correspond with major discontinuities in any of the other three tables.

RA Card - Reservoir Areas

This card specifies the reservoir surface areas corresponding to the storage capacities specified on the RS card.

Field	Variable	Value	Description
1-10	AREA	+	Reservoir surface area in acres (or thousand square meters) corresponding to storage capacity in same field on the RS card.

#Required for all reservoirs.

[1]Cards RS-RE are entered as a set for each reservoir. All four cards are required for every reservoir. Each card in the set for a given reservoir must contain the same number of data items. However, it is not necessary to use the same number of data items for all reservoirs.

RQ Card - Reservoir Outlet Capacities

This card specifies reservoir outlet capacities corresponding to the storage capacities specified on the RS card.

Field	Variables	Value	Description
1-10	QCAP	+	Total reservoir outlet capacity (including conduits, turbines and spillways) in cfs (or m^3/sec) corresponding to storage capacity in same field on the RS card. Special care is needed to define this table properly to describe abrupt changes resulting at conduit inverts, changes in flow control and spillway crests.

RE Card - Reservoir Elevations

This card specifies the reservoir elevations corresponding to the storage capacities specified on the RS card.

Field	Variable	Value	Description
1-10	EL	+	Reservoir elevation in feet (or meters) corresponding to storage capacity in same field on the RS card.

* DV Card - Varying Diversion Requirements

This card specifies diversion requirements at this control point that vary from period to period and normally requires two cards. Return flows can be specified by entering the control point number of the upstream diversion in field 1 and a negative value for the return flow ratio in field 2. For example, a value of 26 in field 1 and a value of -.35 in field 2 would indicate a return flow at this control point which is 35 percent of the flow diverted at control point 26. Return flows can only be calculated as a function of diversions at one upstream control point. Supply a DV card(s) even if YD cards supplied.

Field	Variable	Value	Description
1	QDIV	+	Diversion requirements for first period in standard flow units (cfs or m^3/sec) unless nonstandard flow units have been specified by CNSTO (J2 card, field 6). If field 2 is negative, this is the control point number as described above.
2	QDIV	+	If positive, diversion requirements for second period; NPER (J5 card, field 1) values must be provided.
		-	If negative, ratio to compute return flow as described above.

*Optional card

* QD Card - Varying Desired Flows

This card specifies periodically varying minimum desired flows at this control point. If NPER is greater than 10, two cards are required.

Field	Variable	Value	Description
1-10	QMIN	+	Minimum desired flow in standard flow units (cfs or m^3/sec) unless nonstandard units have been specified by CNSTO (J2 card, field 6). Specify NPER (J5 card, field 1) values in successive order, one value per field. The first value must be the value for period number IPERA (J5 card, field 2).

G. Annual Data (Note Change in Format)[1]

** IN Card - Yearly Inflows

Inflow cards for each station specified on LF cards.

Field	Variable	Value	Description
1	M	+	Identification number of input inflows (columns 3-6). Must be less than 40.
2	IDT	+	Last 2 digits of year (columns 7 & 8).
3-14	QII	+	Inflows in units corresponding to CNSTI, NPER items per station (12 fields of 6 columns each, with first field in columns 9-14 on all cards).

F. End of Control Point Data

ED Card

Card with characters ED punched in columns 1 and 2 to end reading control point sequence cards CP-PE for last control point

6.8 เอกสารอ้างอิง

(1) Hydrologic Engineering Center, HEC-3 (Reservoir System Analysis for Conservation), User's Manual, US. Army Corps of Engineers, USA, July 1974.

ภาคผนวก

HEC 3 (PC Version)

Reservoir System Analysis for Conservation

---

1. Installation

สร้าง Subdirectory c:\HEC3PC

Copy files ซึ่งประกอบด้วย

- HEC3PC.EXE
- HEC3READ.ME
- HEC3SUM.EXE
- HEC3SUM.DOC
- H3PERAK.DAT และ TEST1.DAT (input data file)

เข้าไปใน c:\HEC3PC

2. Program Execution

2.1 run program โดยพิมพ์คำว่า HEC3PC

unit5 = input data file (i.e. H3PERAK.DAT)

unit6 = output data file (i.e. H3PERAK.OUT) หรือ PRN หรือ LPT1

2.2 run HEC3SUM.EXE

unit1 = H3PERAK.OUT

unit5 = H3SUMP.DAT (ดู format ใน HEC3SUM.DOC)

unit6 = H3PERAK.SUM

บทปฏิบัติการที่ 6

การวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำด้วย HEC-3

ในที่นี้ HEC-3 ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบอ่างเก็บน้ำแม่วงก์-แควกรัง ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 6.3

ในที่นี้ต้องมี INPUT DATA FILE (MWSEL.DAT) ในการรัน RUN ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งประกอบด้วย MAE WONG-SAKAE KRANG Data ดังนี้คือ

- Hydrologic Data
- Flow Requirements and Constraints Data
- Reservoir Data

ซึ่งในแต่ละข้อ ก็จะต้องมีการป้อนข้อมูล ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะข้อมูลในส่วนของ File MWSKK.DAT

1. Hydrologic Data (for LF cards)

Stream flow information are available at Station 5 and 7. Therefore, it is necessary to use drainage area ratios (as shown below) to compute local monthly flows at each control point by use of LF card.

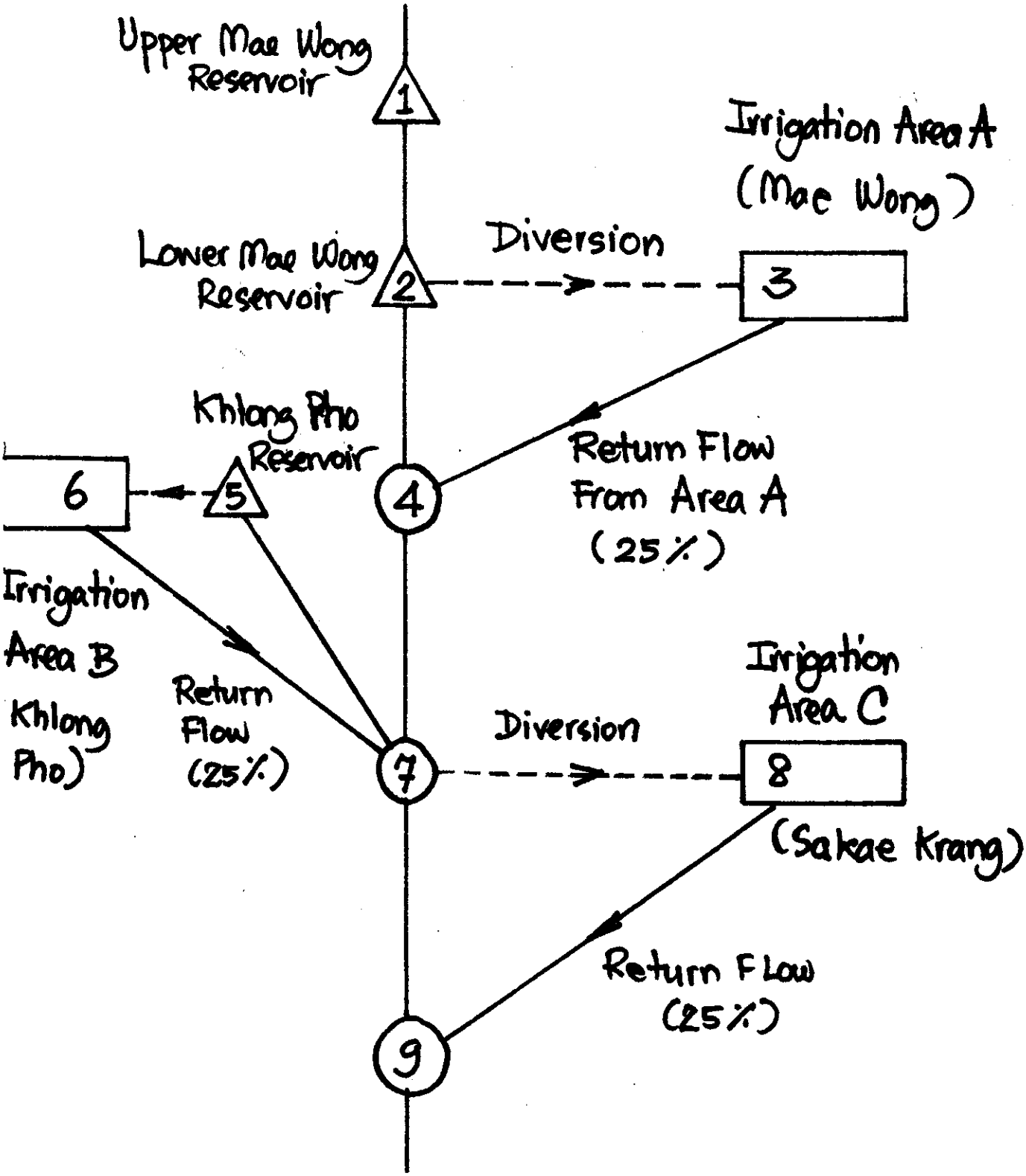
Control Point	Ratio to Flow Station 5	Ratio to Flow Station 7
1	0.652	
2	0.360	
3	1.302	
4	0	
5	1	
6		2.074
7		1
8	1.157	5.138
9	0	

2. Flow Requirements and Constraints (For ID Cards)

Unit in cms.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Diversion Requirement (GDV,ID Card,field 1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Min Desired Flow. (QMN,ID Card, field 2)	0	0	0	0	0	0	0	0	50
3. Min Required Flow (QM2,ID Card, field 3)	0	0	0	0	0	0	0	0	50
4. Max. Permissible Flow (QMXX,ID Card, field 4)	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	1000

3. Reservoir Data (for RL Cards)

Unit in mcm	Resevoir Storage		
	Upper Mae Wong	Lower Mae Wong	Khlong Pho
Initial Capacity (STOR1,R1 Card, field 2)	216	136	100
Top Flood Control Pool ((RL card, Level 4)	219	140	102
Top Conservation Pool (RL Card, Level 3)	219	140	102
Top Buffer Dtorage (RL Card, Level 2)	189	124	95
Minimum Pool (RL Card, Level 1)	189	124	95



รูปที่ 6.3 Mae Wong - Sakae Krang Irrigation System

บทที่ 7

การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจลอง HEC-4 1/

(Monthly Streamflow Simulation)

การพัฒนาแหล่งน้ำ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ มีวัตถุประสงค์ที่จะนำน้ำจากแม่น้ำลำธารมาใช้ประโยชน์ โดยการเก็บกักน้ำเป็นต้นทุนไว้ใช้ในหน้าแล้ง การทดน้ำในแม่น้ำให้มีระดับสูงขึ้นสามารถไหลเข้าในพื้นที่เพาะปลูกได้ หรือกักตุนน้ำไว้เพื่อสูบน้ำไปใช้ในกิจการต่าง ๆ เป็นต้น การเก็บกักน้ำ การทดน้ำ เหล่านี้จำเป็นจะต้องศึกษาปริมาณน้ำท่าที่ไหลมาตามธรรมชาติ จากข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีตที่จดบันทึกไว้เป็นเวลานานพอ เพื่อที่จะคาดคะเนว่าปริมาณน้ำในอนาคตจะมีเพียงพอ มากเกิน หรือน้อยเกินไปในช่วงเวลาใดบ้าง แต่ปัญหาที่พบเสมอก็คือ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำมักจะเป็นพื้นที่ห่างไกล การคมนาคมไม่สดวก ข้อมูลการวัดปริมาณน้ำอาจไม่เคยมีเลย หรือมีแต่ระยะสั้น ดังนั้นจึงจำมีการประเมินปริมาณน้ำท่าด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง

7.1 การประเมินน้ำท่า

7.1.1. แบบกายภาพ ได้แก่ แบบจำลอง ฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff models or watershed models) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใส่ป้อนข้อมูลฝน พารามิเตอร์ และสัมประสิทธิ์ประกอบอื่นเข้าไปในคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรม ฝน-น้ำท่า และให้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณปริมาณน้ำท่าออกมา มีผู้คิดสร้างโปรแกรมขึ้นหลายชื่อ เช่น

Tank model

Stanford Watershed model (1986)

USDA-HL model (1970)

SCS model (Soil Conservative Service,1957)

NAN model (Nedbor-Afstromnings model)

SACRAMENTO Watershed model (1985)

SSARR model (Stream Flow Synthesis and regulation, 1972)

7.1.2. แบบจำลองทางสถิติ (Statistic models) เป็นแบบจำลองถดถอยเชิงซ้อน(Multiple regression models)

แบบจำลองตามหลักสถิติ HEC-4 Monthly streamflow simulation สร้างขึ้นโดย US. Army Corps of Engineers, The Hydrologic Engineering Center, Feb.1971 ต่อมาแบบจำลองนี้ใช้กันแพร่หลายและได้ผลดี นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมอื่นที่อยู่ในตระกูลเดียวกันนี้คือ

HEC-1 Flood hydrograph Package

HEC-2 Water surface Profiles

HEC-3 Reservoir system Analysis for conservation

HEC-4 Monthly Streamflow Simulation

HEC-5 Simulation of flood control and conservation

HEC-6 Scour and Deposition in rivers and reservoirs

7.2 ประโยชน์ของโปรแกรม HEC-4

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติของปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานีต่าง ๆ ด้วยแบบจำลอง HEC-4 จะสามารถสร้างข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนต่อเนื่องยาวเท่าที่ต้องการตามความสัมพันธ์ทางสถิติดังกล่าว นอกจากนี้ยังสามารถเติมข้อมูลที่ขาดหายไปด้วยการคำนวณจากปริมาณน้ำท่าของสถานีอื่นในช่วงเวลา

1/ คัดลอกจากบทความ รศ.ดร.วีระพล แต้สมบัติ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มก.

ใยวกัน (Concurrent flows) และจะคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดแต่ละเดือนให้ สำหรับช่วงเวลาที่มีข้อมูลวัด ได้(Recorded) และข้อมูลต่อเติม(Reconstituted) ตลอดทั้งข้อมูลที่สร้างขึ้นมาใหม่(Generated)ก็จะคำนวณ ออกมาด้วย

อนึ่ง แบบจำลอง HEC-4 มีหลายทางเลือก(Option)เพื่อนำไปใช้แต่ละกรณีไป นอกจากนี้แล้ว EC-4 ยังใช้ได้กับตัวแปรอื่น เช่น ปริมาณฝน ปริมาณการระเหย อุณหภูมิ ปริมาณน้ำที่ต้องการ ทั้งที่ใช้ตัวแปร ใยวหรือมีตัวแปรหลายตัวร่วมกัน

.3 หลักสำคัญในการวิเคราะห์

1. ส่วนของการวิเคราะห์เชิงสถิติของโปรแกรมนี้ ปริมาณน้ำท่าแต่ละเดือนของสถานีต่าง ๆจะบวกด้วย ไมาณ q_i ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1 เปอร์เซนต์ของปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย เพื่อป้องกัน Infinite negative garithms ในกรณีที่ข้อมูลเป็นศูนย์ ปริมาณ q_i ที่เพิ่มนี้จะถูกหักออกจากค่าปริมาณน้ำท่าภายหลัง ในขั้นตอน ท้าย ค่าตัวแปรซึ่งเป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่บวกด้วย q_i จะเปลี่ยนให้อยู่ในรูป Logarithms ดังนี้

$$X_{i,m} = \log(Q_{i,m} + q_i) \qquad \text{..... (7.1)}$$

การคำนวนค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน(Standard deviation)

ะสัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยว (Skew Coefficient) ของแต่ละเดือนของสถานีต่าง ๆ คำนวณ เตามสูตรต่อไปนี้

$$\bar{X}_i = \sum_{m=1}^{N} X_{i,m} / N \qquad \text{..... (7.2)}$$

$$S_i = \sqrt{\sum_{m=1}^{N} (X_{i,m} - \bar{X}_i)^2 / (N-1)} \qquad \text{..... (7.3)}$$

$$g_i = N \sum_{m=1}^{N} (X_{i,m} - \bar{X}_i)^3 / ((N-1)(N-2) S_i^3) \qquad \text{...(7.4)}$$

X = log ของปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่บวกด้วย q แล้ว

Q = ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของข้อมูลเดิม

q = ค่าปริมาณน้ำท่าเล็กน้อยซึ่งใส่ไว้ป้องกัน infinite logarithms เมื่อเดือนใดปริมาณน้ำ ท่าไม่มี (เป็นศูนย์)

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของ X

S = ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของ X

g = ค่าสัมประสิทธิ์ความเบ้ของ X

N = จำนวนปีของข้อมูล

i = Month number

m = Year number

2. แต่ละสถานีหากข้อมูลเดือนใดหายไป โปรแกรมจะค้นหาข้อมูลจากสถานีอื่น ๆที่มีสถิติยาวกว่า มาใช้ปรับแก้ค่าสถิติ(Statistics)ต่าง ๆที่คำนวณมาจากข้อมูลที่ไม่ครบสมบูรณ์ให้เชื่อถือยิ่งขึ้น จากนั้นจึงปรับแก้ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนที่คำนวณได้

สมการที่ (7.5) ใช้ในการคำนวณจำนวนข้อมูลเทียบเท่า N' ซึ่งจะเป็นพื้นฐานการเลือกข้อมูลที่ดีที่สุดที่จะนำไปใช้ในการปรับแก้

$$N' = \frac{N_1}{1 - \frac{N'_2 - N_1}{N'_2} R^2} \qquad \text{..... (7.5)}$$

or $$R^2 = \frac{N'_2 \, (N'_1 - N_1)}{N'_1 \, (N'_2 - N_1)}$$

สมการที่ใช้ปรับแก้ค่าเฉลี่ย $\bar{X}'_1 - \bar{X}_1 = (\bar{X}'_2 - \bar{X}_2) R S_1 / S_2$ ..... (7.6)

สมการที่ใช้ปรับค่าเบี่ยงเบน $S'_1 - S_1 = (S'_2 - S_2) R^2 S_1 / S_2$ ..... (7.7)

เครื่องหมายขีดบน(Prime)เป็นข้อมูลของปีที่มีข้อมูลนาน ส่วนที่ไม่มีเครื่องหมายขีดบนนั้นเป็นข้อมูลของสถานีที่มีข้อมูลสั้นของสถานีหมายเลข 1 และหมายเลข 2

N = จำนวนปีของข้อมูล (Length of record)

R = Linear correlation coefficient

3. เปลี่ยนค่าตัวแปร $X_{i,m}$ (Individual flow) ให้เป็นตัวแปรมาตราฐานโดยใช้ Pearson Type III Probability distribution ดังต่อไปนี้

$$t_{i,m} = (X_{i,m} - \bar{X}_i) / S_i \qquad \text{..... (7.8)}$$

$$K_{i,m} = (6 / g_i)[((g_i t_{i,m} / 2) + 1)^{1/3} - 1] + g_i / 6 \quad \text{..... (7.9)}$$

$t_{i,m}$ = Pearson Type III standard deviate

$K_{i,m}$ = Normal standard deviate

4. หลังจากเปลี่ยนค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนของทุกสถานี และทุกเดือนให้เป็นค่าตัวแปรปกติมาตรฐาน ($K_{i,m}$) ขั้นต่อไป โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ R ระหว่างแต่ละคู่ของสถานีสำหรับเดือนเดียวกัน(Concurrent month) และกับเดือนก่อน(Preceding month) จากสมการต่อไปนี้

$$R_{i,j-1} = \{1 - [1 - (\sum_{m=1}^{N} x_{i,m} x_{i-1,m})^2 / (\sum_{m=1}^{N} x^2_{i,m} \sum_{m=1}^{N} x^2_{i-1,m})](N-1)/(N-2)\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....(7.10)}$$

เมื่อ $x = X - \bar{X}$

5. ถ้าหากค่าตัวแปรปริมาณน้ำท่าแต่ละคู่ของสถานีมีน้อยไม่เพียงพอจะนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ได้ (จำนวนปีของเดือนนั้นน้อยกว่า 3) ก็จำเป็นต้องประมาณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเดือนนั้นทางอ้อม ค่าที่หายไปสามารถคำนวณได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแต่ละตัวแปรของคู่ตัวแปรที่หายไป (I และ J) กับตัวแปรอื่น (k) ใด ๆตามสมการต่อไปนี้

$$R_{i,j} = R_{k,i}R_{k,j}\sqrt{(1-R^2_{k,i})(1-R^2_{k,j})} \qquad \text{..... (7.11)}$$

จากการคำนวณค่า $R_{i,j}$ ได้หลาย ๆค่าซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนตัวแปรอื่น (k) ต่าง ๆ ที่นำมาทำการคำนวณตามลำดับ ขีดจำกัดบนของค่า $R_{i,j}$ จะกำหนดให้เท่ากับค่าต่ำสุดของค่า upper limits (คำนวณโดยใช้เครื่องหมาย +) ต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากสมการที่ (11) และขีดจำกัดล่างของ $R_{i,j}$ จะกำหนดให้เท่ากับค่าสูงสุดของ lower limits (คำนวณโดยใช้เครื่องหมาย -) ต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากสมการที่ (11) เช่นเดียวกัน และค่าเฉลี่ยของขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างจะกำหนดให้เป็นค่าของ $R_{i,j}$ ที่ขาดหายไป

6. ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ขาดหายไปไม่ว่าจะเป็นสถานีใด โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าที่ขาดหายไปเหล่านี้ทุกเดือนและทุกสถานี และเพื่อที่จะสร้างข้อมูลเพิ่มเติม (reconstitute) ในช่วงที่ขาดหายไปดังกล่าว จำเป็นต้องคำนวณสมการถดถอย (regression equation) ในเทอมของตัวแปรปกติมาตรฐานด้วยการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ที่ต้องการจาก Correlation matrix ที่สมบูรณ์สำหรับเดือนนั้น และแก้สมการด้วยวิธี Crout ค่าที่ขาดหายไป (ในเทอมของตัวแปรปกติมาตรฐาน) จะคำนวณจากสมการถดถอยที่คำนวณได้นี้ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในขั้นตอนที่ (8) เกี่ยวกับวิธีการสร้างข้อมูลใหม่ (streamflow generation)

7. ในขั้นตอนนี้จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนค่าตัวแปรปกติมาตรฐานกลับไปเป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนด้วยการใช้สมการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$t_{i,m} = \{[(g_i/6)(K_{i,m} - g_i/6) + 1]^3 - 1\}(2/g_i) \qquad \text{..... (7.12)}$$

$$X_{i,m} = \bar{X} + t_{i,m}S_i \qquad \text{..... (7.13)}$$

$$Q_{i,m} = \text{Antilog } X_{i,m} - q_i \qquad \text{..... (7.14)}$$

$$Qi,m \geq 0 \qquad \text{..... (7.15)}$$

สำหรับค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือน $Q_{i,m}$ ที่คำนวณได้นี้จะต้องมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับศูนย์ ถ้าหากว่ามีค่าเป็นลบจะกำหนดให้เท่ากับศูนย์

8. ในการสร้างข้อมูลใหม่ (streamflow generation) โปรแกรมจะทำการคำนวณสมการถดถอยจาก correlation matrix ด้วยวิธี Crout สำหรับแต่ละสถานีและแต่ละเดือน จากนั้นทำการคำนวณปริมาณน้ำท่าของแต่ละสถานีโดยคำนวณแต่ละเดือนติดต่อกันไป ด้วยการใช้สมการที่ (16) โดยจะเริ่มจากค่าเฉลี่ยของทุกสถานีในเดือนแรก และคำนวณเดือนต่อ ๆ ไป จากนั้นจะตัดค่าปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สร้างขึ้นมาใหม่ในช่วง 2 ปีแรกทิ้งไป

$$K_{i,j}=B_1K_{i,2}+\cdots+B_{j-1}K_{i,j-1}+B_jK_{i-1,j}+B_{j+1}K_{i-1,j+1}+\cdots+B_nK_{i-1,n}+\sqrt{1-R^2_{i,j}}Z_{i,j} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7.16)$$

k = ค่า monthly flow logarithm ซึ่งแสดงในค่าของตัวแปรปกติมาตรฐาน

β = สัมประสิทธิ์เบต้าคำนวณจาก correlation matrix

n = จำนวนสถานีที่มีความสหสัมพันธ์กัน

R = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงซ้อน (multiple regression coefficient)

Z = จำนวนเลขสุ่ม (random number)

i = month number

j = station number

สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการคำนวณที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-4 ทำได้จากคู่มือของแบบจำลอง

7.4 INPUT DATA

แบบจำลอง HEC-4 สามารถทำงานได้หลายทางเลือก (options) ซึ่งสรุปได้ดังนี้ (HEC._____)

- Standard anlysis and generation
- Multi-pass reconstitution and generation
- Flow projections
- Compute and use generalized statistics
- Statistics furnished
- Generalized statistics furnished

ดังนั้น input data จึงมีจำนวนมากมายดังแสดงในรูปของบัตรคอมพิวเตอร์โปรแกรมเดิมเขียนเป็นภาษา FORTRAN IV และ input data มีลักษณะเป็น (data cards) ดังแสดงในภาคผนวกสำหรับแบบจำลองที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบ PC ข้อมูล input data จะนับเป็นบรรทัด (line) สำหรับคอลัมน์แรกของแต่ละบัตร (card) จะสงวนไว้สำหรับใส่ card identifications ซึ่งเป็นตัวอักษร A ถึง R อย่างไรก็ตาม input data ไม่จำเป็นต้องมีครบทุกบัตร การใช้บัตรหรือ card identification ชุดใดขึ้นอยู่กับทางเลือกที่จะ run โปรแกรม

จากประสพการณ์พบว่าเฉพาะทางเลือกที่ 1 คือ standard Analysis and Generation ก็สามารถใช้งานในการประเมินน้ำท่าได้เป็นอย่างดี ตัวอย่าง input data สำหรับทางเลือกดังกล่าวนี้แสดงไว้ในตารางที่ 1 จะเห็นว่ามี card identifications อยู่ 7 อักษรด้วยกันคือ A. B, C , D, E, H และ I

การหยุดทำงานแบบจำลอง HEC-4 กระทำได้โดยใช้บัตรที่คอลัมน์แรกมีอักษร A และตามด้วย (Blank) cards อีก 4 ใบ หรือบัตรที่มีเฉพาะอักษร A ในคอลัมน์แรกเท่านั้นจำนวน 5 ใบ

7.5 OUTPUT DATA

แบบจำลองจำทำการเก็บ OUTPUT DATA ไว้ใน FILE ที่เราต้องการ ซึ่งประกอบด้วยข้อสนเทศของ key input ต่าง ๆ และผลลัพธ์ทั้งหมดที่คำนวณได้สำหรับ input data ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 7.1 จะได้ output data ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7.2

7.6 แนวทางการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า

ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสำหรับจุดที่ตั้งอาคารแหล่งน้ำที่ ไม่มีสถานีวัดน้ำท่านั้น จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่บริเวณข้างเคียง และนำผลมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ณ ที่ตั้งอาคารแหล่งน้ำ ตามขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

1. ศึกษารูปแบบการแพร่กระจายของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย ตลอดทั้งลุ่มน้ำที่ศึกษาและบริเวณข้างเคียง โดยอาศัยข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนต่าง ๆ หรือศึกษาจากแผนที่แสดงชั้นปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย

2. ศึกษาปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ของแม่น้ำและลำน้ำสาขาจากสถิติข้อมูลปริมาณน้ำท่าของสถานีต่าง ที่อยู่ใกล้เคียง

3. ทำการจัดกลุ่มสถานีวัดน้ำท่า หรือทำการเลือกกลุ่มสถานีวัดน้ำท่า โดยพิจารณาค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ และปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยเป็นหลัก

4. สำหรับกลุ่มสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการเลือก ทำการต่อขยายปริมาณน้ำท่า รายเดือนของแต่ละสถานี ให้มีสถิติยาวตามต้องการ ด้วยการใช้แบบจำลอง HEC-4 ถ้าหากว่าไม่มีสถานีใดที่มีข้อมูลยาวพอเพียง ก็จะสามารถพิจารณาข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนของสถานีที่ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้

5. ทำการเลือกสถานีวัดน้ำท่าเป็นสถานีตรรชนี ซึ่งได้ทำการต่อขยายข้อมูลไว้แล้ว จากนั้นคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือน ณ จะที่ตั้งจุดต่างตำแหน่งน้ำที่ต้องการ จากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานีตรรชนีด้วยการควบคุมด้วยแฟกเตอร์ ซึ่งหามาจากอัตราส่วนพื้นที่รับน้ำฝน หรือจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่ลุ่มน้ำ

7.7 เอกสารอ้างอิง

1. วีระพล แต้สมบัติ. การประเมินน้ำท่าและแบบจำลอง HEC-4. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ธันวาคม 1993.

2. Hydrologic Engineering Center, HEC-4 (Monthly Streamflow Simulation), US. Army Corps of Engineers, _____ .

ตารางที่ 7.1 ตัวอย่าง Input Data ของ HEC-4

```
A                    TEST DATA - 723-X6-L2340                          11
A              MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION - NOV 1970
A                  STANDARD ANALYSIS AND GENERATION
B  1904      10       1       5      10       5       1
C     1
D     3    107     110     111
E     3     1.      1.      1.
H1071905 4.64  2.24  3.74  9.72 30.2  36.5  13.8  14.8   4.36  1.48   .553  .085
H1071906  .372 1.35  2.25 33.2  16.7  84.2  33.1  18.3  10.7   3.24  1.09   .400
H1071907  .867 1.98 31.4  72.6  32.5 121.  32.4  12.2   6.49  2.80  1.19  1.15
H1101904  2.72  4.08  3.38  3.65 13.2  46.7  62.5 141.   70.2  14.1   6.76  7.14
H1101905 33.5   6.49  5.50  6.89 14.0  34.4  47.5  88.5  82.7  18.4   4.52  2.61
H1101906  2.59  3.31  5.04 48.9  23.1 152.  110.  200.  288.  216.   42.6  12.3
H1101907  6.40  6.07 14.1  25.6  33.4  64.0 118.  122.  124.   64.6  16.1   5.60
H1101908  7.07  6.37 12.3  12.8  18.8  37.1  48.0  55.5  36.2  11.4   5.44  5.01
H1111904 12.4  13.9  13.1  12.5  37.4 134.  212.  590.  431.  123.   65.2  42.7
H1111905 119.   37.7  22.6  28.1  50.8 116.  165.  366.  386.  116.   28.3  12.6
H1111906  11.2  12.1  16.3 146.   68.3 330.  287.  682. 1010. 1000.  270.   67.2
H1111907  31.4  23.4  43.0  87.9 101.  248.  403.  563.  625.  454.  121.   32.5
I
A                    TEST DATA - 723-X6-L2340                          11
A              MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION - NOV 1970
A              MULTI-PASS RECONSTITUTION AND GENERATION
B  1904      10       1       5      10       5       2
C
H1071905 4.64  2.24  3.74  9.72 30.2  36.5  13.8  14.8   4.36  1.48   .553  .085
H1071906  .372 1.35  2.25 33.2  16.7  84.2  33.1  18.3  10.7   3.24  1.09   .400
H1071907  .867 1.98 31.4  72.6  32.5 121.  32.4  12.2   6.49  2.80  1.19  1.15
H1101904  2.72  4.08  3.38  3.65 13.2  46.7  62.5 141.   70.2  14.1   6.76  7.14
H1101905 33.5   6.49  5.50  6.89 14.0  34.4  47.5  88.5  82.7  18.4   4.52  2.61
H1101906  2.59  3.31  5.04 48.9  23.1 152.  110.  200.  288.  216.   42.6  12.3
H1101907  6.40  6.07 14.1  25.6  33.4  64.0 118.  122.  124.   64.6  16.1   5.60
H1101908  7.07  6.37 12.3  12.8  18.8  37.1  48.0  55.5  36.2  11.4   5.44  5.01
I
J                          1     110
H1111904 12.4  13.9  13.1  12.5  37.4 134.  212.  590.  431.  123.   65.2  42.7
H1111905 119.   37.7  22.6  28.1  50.8 116.  165.  366.  386.  116.   28.3  12.6
H1111906  11.2  12.1  16.3 146.   68.3 330.  287.  682. 1010. 1000.  270.   67.2
H1111907  31.4  23.4  43.0  87.9 101.  248.  403.  563.  625.  454.  121.   32.5
I
A                    TEST DATA - 723-X6-L2340                          11
A              MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION - NOV 1970
A                        FLOW PROJECTIONS
B  1904      10       1       5                       1
C                                    2    1909      10    1913
H1101904  2.72  4.08  3.38  3.65 13.2  46.7  62.5 141.   70.2  14.1   6.76  7.14
H1101905 33.5   6.49  5.50  6.89 14.0  34.4  47.5  88.5  82.7  18.4   4.52  2.61
H1101906  2.59  3.31  5.04 48.9  23.1 152.  110.  200.  288.  216.   42.6  12.3
H1101907  6.40  6.07 14.1  25.6  33.4  64.0 118.  122.  124.   64.6  16.1   5.60
H1101908  7.07  6.37 12.3  12.8  18.8  37.1  48.0  55.5  36.2  11.4   5.44  5.01
H1111904 12.4  13.9  13.1  12.5  37.4 134.  212.  590.  431.  123.   65.2  42.7
H1111905 119.   37.7  22.6  28.1  50.8 116.  165.  366.  386.  116.   28.3  12.6
H1111906  11.2  12.1  16.3 146.   68.3 330.  287.  682. 1010. 1000.  270.   67.2
H1111907  31.4  23.4  43.0  87.9 101.  248.  403.  563.  625.  454.  121.    -1
T
```

ตารางที่ 7.1 (ต่อ)

```
A                    TEST DATA - 723-X6-L2340                          11
A              MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION - NOV 1970
A               COMPUTE AND USE GENERALIZED STATISTICS
B   1904      10       1       5      10      10       1
C                             2
H1101904  2.72  4.08  3.38  3.65 13.2  46.7  62.5 141.   70.2  14.1   6.76  7.14
H1101905 33.5   6.49  5.50  6.89 14.0  34.4  47.5  88.5  82.7  18.4   4.52  2.61
H1101906  2.59  3.31  5.04 48.9  23.1 152.  110.  200.  288.  216.   42.6  12.3
H1101907  6.40  6.07 14.1  25.6  33.4  64.0 118.  122.  124.   64.6  16.1   5.69
H1101908  7.07  6.37 12.3  12.8  18.8  37.1  48.0  55.5  36.2  11.4   5.44  5.01
H1111904 12.4  13.9  13.1  12.5  37.4 134.  212.  590.  431.  123.   65.2  42.7
H1111905 119.   37.7  22.6  28.1  50.8 116.  165.  366.  386.  116.   28.3  12.6
H1111906  11.2  12.1  16.3 146.   68.3 330.  287.  682. 1010. 1000.  270.   67.2
H1111907  31.4  23.4  43.0  87.9 101.  248.  403.  563.  625.  454.  121.   32.5
I
A                    TEST DATA - 723-X6-L2340                          11
A              MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION - NOV 1970
A                     STATISTICS FURNISHED
B           10                      10      10                          3
C
 107 107  .864  .949  .521  .402  .000  .000  .916  .000  .000  .947  .880  .897
 107 110  .390  .951  .532  .407  .000  .999  .867  .000  .998  .936  .850  .754
 107 111  .390  .956  .510  .392 0.     .967  .946 0.     .926  .956  .863  .769
 110 107  .998  .979  .988  .793  .000  .770  .992  .000  .988  .965  .822  .596
 110 107  .868  .928  .518  .317  .999  .000  .923  .833  .000  .983  .963  .729
 110 110  .391  .930  .529  .321  .793  .757  .860  .826  .986  .971  .959  .833
 110 111  .391  .936  .507  .309  .789  .733  .938  .763  .915  .975  .974  .850
 111 107  .992  .979  .968  .784  .000  .866  .917  .000  .992  .980  .858  .591
 111 110  .994  .957  .963  .995  .967  .917  .924  .924  .980  .985  .980  .998
 111 107  .861  .970  .538  .315  .968  .000  .999  .906  .000  .968  .974  .728
 111 110  .389  .971  .550  .319  .767  .826  .795  .899  .990  .956  .940  .832
 111 111  .388  .977  .526  .307  .763  .799  .867  .831  .918  .974  .955  .849
     107  .123  .277  .917 1.378 1.449 1.861 1.393 1.156  .778  .327 -.079 -.529
     107  .509  .100  .651  .339  .151  .196  .154  .076  .176  .152  .138  .412
     107  .015 -.027  .157 -.211 -.750 -.829 -.658 -.164 -.098 -.643 -.793 -.253
     107   .0    .0    .1    .5    .3   1.0    .3    .2    .1    .0    .0    .0
     110  .817  .712  .849 1.132 1.291 1.760 1.859 2.052 1.983 1.538 1.021  .768
     110  .443  .131  .263  .437  .164  .259  .189  .208  .327  .528  .399  .241
     110  .320 -.036 -.048  .150  .418  .586  .262 -.006  .236  .550  .464  .307
     110   .1    .1    .1    .2    .2    .8    .9   1.5   1.4   .8    .2    .1
     111 1.529 1.332 1.401 1.637 1.798 2.281 2.407 2.707 2.712 2.345 1.878 1.574
     111  .451  .207  .242  .416  .160  .184  .143  .118  .195  .469  .391  .283
     111  .289  .505  .359  .118  .073  .144 -.099 -.253  .125  .274 -.074 -.115
     111   .5    .3    .3    .8    .8   2.5   3.2   6.6   7.4   5.1   1.6    .5
I
A                    TEST DATA - 723-X6-L2340                          11
A              MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION - NOV 1970
A                 GENERALIZED STATISTICS FURNISHED
B           10                      10      10                          3
C                                1
 107 107  .531
 110 107  .741
 110 110  .763
 111 107  .744
 111 110  .965
 111 111  .763
     107 1.494 -.189  .290    4.   10.
     110 1.965  .766  .299    6.   11.
     111 2.611 1.427  .269    6.   12.
A
```

ตารางที่ 7.2 ตัวอย่าง Output of HEC-4
สำหรับกรณี Standard Analysis and Generation

1

TEST DATA - 723-X6-L2340
MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION - NOV 1970
STANDARD ANALYSIS AND GENERATION

UNIFORM RANDOM NUMBER GENERATOR REPEATABLE INITIAL STATE = 11

IYRA	IMNTH	IANAL	NXRCS	NYRG	NYNXG	NPASS	IPCHQ	IPCHS	NSTA	NCOMB	NTNDN	NCSTY	IGNRL	NPROJ	IYRPJ	MTHPJ	LYRPJ
1904	10	1	5	10	5	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

COMB 1 STA 3 107 110 111
RATIO 1.000 1.000 1.000

MAXIMUM VOLUMES OF RECORDED FLOWS

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	5	2	31	73	33	121	33	18	11	3	1	1	121	302	-99999999	18
110	34	6	14	49	33	152	118	200	288	216	43	12	288	1009	2656	45
111	119	38	43	146	101	330	403	682	1010	1000	270	67	1010	3579	-99999999	204
996	157	46	89	228	167	566	553	900	1309	1219	314	80	1309	4738	-99999999	299

MINIMUM VOLUMES

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	0	1	2	10	17	37	14	12	4	1	1	0	0	6	100000000	
110	3	3	3	4	13	34	48	56	36	11	5	3	3	36	2519	
111	11	12	13	13	37	116	165	366	386	116	28	13	11	196	100000000	
996	14	17	24	45	95	187	226	469	473	136	33	15	14	239	100000000	

FREQUENCY STATISTICS

STA	ITEM	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
107	MEAN	0.112	0.283	0.820	1.465	1.410	1.862	1.396	1.177	0.834	0.395	0.000	-0.312
	STD DEV	0.513	0.108	0.597	0.433	0.157	0.263	0.214	0.087	0.192	0.173	0.182	0.415
	SKEW	1.041	-1.308	1.491	-0.627	-1.653	-1.073	-1.728	0.142	0.348	-1.489	-1.641	-0.122
	INCRMT	0.10	0.10	0.12	0.39	0.26	0.81	0.26	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10
	YEARS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
110	MEAN	0.815	0.715	0.849	1.130	1.290	1.758	1.858	2.051	1.982	1.536	1.020	0.770
	STD DEV	0.444	0.130	0.262	0.439	0.164	0.259	0.190	0.208	0.328	0.530	0.400	0.240
	SKEW	1.211	-0.835	0.220	0.071	0.625	1.454	0.371	-0.453	0.485	1.041	1.085	-0.121
	INCRMT	0.10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.67	0.77	1.21	1.20	0.65	0.15	0.10
	YEARS	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
111	MEAN	1.439	1.298	1.335	1.673	1.784	2.281	2.407	2.734	2.760	2.462	1.953	1.524
	STD DEV	0.469	0.223	0.223	0.473	0.182	0.213	0.186	0.115	0.187	0.449	0.408	0.382
	SKEW	1.117	0.620	1.004	-0.243	0.258	0.210	0.279	-1.435	0.891	0.472	-0.019	-0.939
	INCRMT	0.43	0.22	0.24	0.69	0.64	2.07	2.67	5.50	6.13	4.23	1.21	0.39
	YEARS	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

FREQUENCY STATISTICS AFTER ADJUSTMENTS

STA	ITEM	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
107	MEAN	0.012	0.283	0.769	1.403	1.410	1.826	1.321	1.177	0.710	0.316	-0.033	-0.312
	STD DEV	0.409	0.089	0.637	0.363	0.157	0.227	0.187	0.087	0.228	0.166	0.133	0.415
	SKEW	1.041	-1.308	1.491	-0.627	-1.653	-1.073	-1.728	0.142	0.348	-1.489	-1.641	-0.122
	INCRMT	0.10	0.10	0.12	0.39	0.26	0.81	0.26	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10
110	MEAN	0.815	0.715	0.849	1.130	1.290	1.758	1.858	2.051	1.982	1.536	1.020	0.770
	STD DEV	0.444	0.130	0.262	0.439	0.164	0.259	0.190	0.208	0.328	0.530	0.400	0.240
	SKEW	1.211	-0.835	0.220	0.071	0.625	1.454	0.371	-0.453	0.485	1.041	1.085	-0.121
	INCRMT	0.10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.67	0.77	1.21	1.20	0.65	0.15	0.10
111	MEAN	1.448	1.334	1.385	1.669	1.782	2.250	2.372	2.681	2.693	2.368	1.890	1.507
	STD DEV	0.407	0.209	0.224	0.409	0.158	0.198	0.163	0.153	0.220	0.441	0.380	0.266
	SKEW	1.117	0.620	1.004	-0.243	0.258	0.210	0.279	-1.436	0.891	0.472	-0.019	-0.939
	INCRMT	0.43	0.22	0.24	0.69	0.64	2.07	2.67	5.50	6.13	4.23	1.21	0.39

1

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 10

STA	107	110	111
	WITH CURRENT MONTH		
107	1.000	0.998	0.987
110	0.998	1.000	0.997
111	0.987	0.997	1.000
	WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION		
107	-4.000	0.534	0.526
110	0.905	0.588	0.578
111	-4.000	0.663	0.656

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 11

STA	107	110	111
	WITH CURRENT MONTH		
107	1.000	0.970	1.000
110	0.970	1.000	0.974
111	1.000	0.974	1.000
	WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION		
107	0.964	0.980	0.994
110	0.870	0.881	0.944
111	0.964	0.982	0.994

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 12

STA	107	110	111
	WITH CURRENT MONTH		
107	1.000	0.984	0.987
110	0.984	1.000	0.967
111	0.987	0.967	1.000
	WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION		
107	0.403	0.613	0.403
110	0.236	0.665	0.442
111	0.544	0.748	0.651

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 1

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.695	0.697
110	0.695	1.000	0.998
111	0.697	0.998	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.675	0.794	0.549
110	-0.060	0.449	0.410
111	-0.059	0.558	0.444

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 2

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.019	0.223
110	0.019	1.000	0.964
111	0.223	0.964	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.117	-0.633	-0.631
110	0.995	0.857	0.855
111	0.994	0.829	0.842

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 3

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.630	0.780
110	0.630	1.000	0.953
111	0.780	0.953	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.066	0.999	0.987
110	-0.734	0.595	0.493
111	-0.573	0.848	0.732

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 4

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.990	0.904
110	0.990	1.000	0.959
111	0.904	0.959	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.874	0.927	0.986
110	0.935	0.894	0.949
111	0.998	0.699	0.828

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 5

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.642	0.454
110	0.642	1.000	0.974
111	0.454	0.974	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.096	-0.048	-0.339
110	0.825	0.755	0.452
111	0.930	0.762	0.605

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 6

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.992	0.994
110	0.992	1.000	0.960
111	0.994	0.960	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.548	0.993	0.994
110	0.652	0.891	0.690
111	0.453	0.839	0.834

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 7

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.999	0.998
110	0.999	1.000	0.989
111	0.998	0.989	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.986	0.957	0.998
110	0.992	0.946	0.967
111	0.974	0.964	0.986

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 8

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.819	0.808
110	0.819	1.000	0.991
111	0.808	0.991	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.787	0.764	0.825
110	0.999	0.939	0.977
111	0.999	0.888	0.941

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

RAW CORRELATION COEFFICIENTS FOR MONTH 9

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.485	0.462
110	0.485	1.000	1.000
111	0.462	1.000	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.970	0.655	0.640
110	0.684	0.832	0.908
111	0.664	0.843	0.904

RECORDED AND RECONSTITUTED FLOWS

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
107	1904	0E	2E	1E	18E	35E	71E	21E	13E	5E	2E	1E	0E	169
107	1905	5	2	4	10	30	37	14	15	4	1	1	0	123
107	1906	0	1	2	33	17	84	33	18	11	3	1	0	203
107	1907	1	2	31	73	33	121	32	12	6	3	1	1	316
107	1908	1E	2E	11E	17E	18E	63E	19E	12E	3E	1E	1E	0E	148

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
110	1904	3	4	3	4	13	47	63	141	70	14	7	7	376
110	1905	34	6	5	7	14	34	48	89	83	18	5	3	346
110	1906	3	3	5	49	23	152	110	200	288	216	43	12	1104
110	1907	6	6	14	26	33	64	118	122	124	65	16	6	600
110	1908	7	6	12	13	19	37	48	56	36	11	5	5	256

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
111	1904	12	14	13	12	37	134	212	590	431	123	65	43	1686
111	1905	119	38	23	28	61	116	165	366	386	116	28	13	1449
111	1906	11	12	16	146	68	330	287	682	1010	1000	270	67	3899
111	1907	31	23	43	88	101	248	403	563	625	464	121	32	2732
111	1908	32E	22E	33E	47E	56E	137E	157E	301E	258E	54E	36E	29E	1161

ADJUSTED FREQUENCY STATISTICS

STA	ITEM	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
107	MEAN	0.014	0.275	0.725	1.377	1.405	1.850	1.359	1.145	0.730	0.295	-0.026	-0.369
	STD DEV	0.405	0.084	0.551	0.329	0.153	0.188	0.159	0.077	0.223	0.195	0.125	0.317
	SKEW	1.370	-0.483	0.564	0.722	-0.525	-0.494	-0.177	1.251	0.007	0.045	-0.257	0.560
	INCRMT	0.10	0.10	0.12	0.39	0.26	0.81	0.26	0.15	0.10	0.10	0.10	0.10
110	MEAN	0.815	0.715	0.849	1.130	1.290	1.758	1.858	2.051	1.982	1.536	1.020	0.770
	STD DEV	0.444	0.130	0.262	0.439	0.164	0.259	0.190	0.208	0.328	0.530	0.400	0.240
	SKEW	1.211	-0.835	0.220	0.071	0.625	1.454	0.371	-0.453	0.485	1.041	1.085	-0.121
	INCRMT	0.10	0.10	0.10	0.20	0.20	0.67	0.77	1.21	1.20	0.65	0.15	0.10
111	MEAN	1.452	1.306	1.371	1.675	1.776	2.254	2.366	2.685	2.693	2.323	1.876	1.512
	STD DEV	0.407	0.194	0.209	0.409	0.159	0.195	0.170	0.149	0.221	0.498	0.393	0.263
	SKEW	0.906	0.387	0.149	-0.256	0.489	0.736	0.672	-0.589	0.439	0.525	0.590	-0.663
	INCRMT	0.43	0.22	0.24	0.69	0.64	2.07	2.67	5.50	6.13	4.23	1.21	0.39

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 10

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.997	0.989
110	0.997	1.000	0.997
111	0.989	0.997	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.438	0.533	0.524
110	0.486	0.588	0.578
111	0.529	0.657	0.648

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 11

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.936	1.000
110	0.936	1.000	0.932
111	1.000	0.932	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.988	0.980	0.992
110	0.848	0.881	0.912
111	0.970	0.982	0.994

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 12

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.977	0.994
110	0.977	1.000	0.967
111	0.994	0.967	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.554	0.720	0.566
110	0.436	0.665	0.444
111	0.634	0.792	0.643

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 1

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.658	0.641
110	0.658	1.000	0.998
111	0.641	0.998	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.494	0.499	0.408
110	0.457	0.449	0.367
111	0.488	0.472	0.402

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 2

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	-0.280	-0.212
110	-0.280	1.000	0.959
111	-0.212	0.959	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.082	-0.627	-0.631
110	0.905	0.857	0.855
111	0.834	0.826	0.839

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 3

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.647	0.749
110	0.647	1.000	0.953
111	0.749	0.953	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.110	0.833	0.709
110	-0.301	0.595	0.485
111	-0.355	0.804	0.722

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 4

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.973	0.900
110	0.973	1.000	0.969
111	0.900	0.969	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.846	0.931	0.986
110	0.872	0.894	0.935
111	0.913	0.760	0.828

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 5

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.661	0.536
110	0.661	1.000	0.980
111	0.536	0.980	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.360	0.314	0.131
110	0.696	0.755	0.663
111	0.778	0.827	0.744

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 6

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.978	0.996
110	0.978	1.000	0.982
111	0.996	0.982	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.698	0.959	0.930
110	0.777	0.891	0.842
111	0.670	0.933	0.912

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 7

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.989	0.989
110	0.989	1.000	0.978
111	0.989	0.978	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.934	0.949	0.956
110	0.900	0.946	0.929
111	0.961	0.971	0.982

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 8

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.855	0.851
110	0.855	1.000	0.991
111	0.851	0.991	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.823	0.778	0.824
110	0.968	0.939	0.928
111	0.957	0.909	0.923

CONSISTENT CORRELATION MATRIX FOR MONTH 9

STA	107	110	111
		WITH CURRENT MONTH	
107	1.000	0.491	0.476
110	0.491	1.000	1.000
111	0.476	1.000	1.000
		WITH PRECEDING MONTH AT ABOVE STATION	
107	0.956	0.678	0.690
110	0.616	0.832	0.873
111	0.606	0.833	0.875

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

MAXIMUM VOLUMES FOR PERIOD 1 OF 5 YEARS OF RECORDED AND RECONSTITUTED FLOWS

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	5	2	31	73	35	121	33	18	11	3	1	1	121	302	954	16
110	34	6	14	49	33	152	118	200	208	216	43	12	208	1009	2656	45
111	119	38	43	146	101	330	403	682	1010	1000	270	67	1010	3679	10812	182
996	167	46	89	228	167	566	553	900	1309	1219	314	80	1309	4738	14485	243

MINIMUM VOLUMES

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	0	1	1	10	17	37	14	12	3	1	1	0	0	6	831	
110	3	3	3	4	13	34	48	56	36	11	5	3	3	36	2564	
111	11	12	13	12	37	116	157	301	258	54	28	13	11	196	10238	
996	14	17	18	34	86	187	224	368	297	67	33	15	14	239	13744	

INCONSISTENT CORREL MATRIX FOR I= 1 K= 2 DTRMS= 1.000

INCONSISTENT CORREL MATRIX ADJUSTED 0 1 3 1.000

1

GENERATED FLOWS FOR PERIOD 1

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
107	1	0	1	3	32	35	83	23	12	5	2	1	0	197
107	2	2	2	9	19	29	58	27	14	7	2	1	0	170
107	3	15	3	4	10	24	73	18	12	5	2	1	1	168
107	4	1	2	6	36	32	100	40	13	9	3	1	0	243
107	5	1	2	22	15	14	54	20	14	6	2	1	0	151

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
110	1	2	5	6	14	17	53	74	136	70	26	12	8	423
110	2	12	6	8	9	16	80	71	134	131	64	12	7	550
110	3	105	7	6	6	17	30	56	96	84	50	15	10	482
110	4	5	6	9	28	27	201	147	209	183	90	27	17	949
110	5	8	7	14	22	20	39	48	131	100	33	14	6	442

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
111	1	10	13	18	47	53	166	233	559	430	164	93	48	1834
111	2	53	27	29	33	55	241	195	532	579	335	93	41	2213
111	3	293	54	25	25	50	117	197	470	465	236	113	54	2099
111	4	24	19	27	89	88	438	441	776	827	651	236	87	3703
111	5	40	26	42	85	66	157	147	544	523	234	77	33	1974

1

MAXIMUM VOLUMES FOR PERIOD 1 OF 5 YEARS OF SYNTHETIC FLOWS

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	15	3	22	36	35	100	40	14	9	3	1	1	100	231	925	16
110	105	7	14	28	27	201	147	209	183	90	27	17	209	856	2796	47
111	293	54	42	89	88	438	441	776	827	651	236	87	827	3370	11650	197
996	413	63	78	152	148	739	628	998	1019	744	264	104	1019	4392	15318	260

MINIMUM VOLUMES

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	0	1	3	10	14	54	18	12	5	2	1	0	0	11	778	
110	2	5	6	6	16	30	48	96	70	26	12	6	2	66	2567	
111	10	13	18	25	50	117	147	470	430	164	77	33	10	246	10403	
996	13	19	27	41	91	221	215	578	505	192	92	39	13	306	13871	

ตารางที่ 7.2 (ต่อ)

GENERATED FLOWS FOR PERIOD 2

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
107	6	0	1	2	26	28	92	38	18	15	4	1	0	225
107	7	3	2	74	19	25	38	19	14	7	2	1	0	204
107	8	9	2	7	6	28	45	12	12	2	1	1	0	125
107	9	1	2	5	29	45	83	33	14	6	2	1	0	221
107	10	4	2	2	9	21	22	8	14	2	1	1	0	86

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
110	6	2	4	4	22	22	200	135	225	614	494	67	16	1805
110	7	29	8	28	13	17	41	46	122	135	65	30	12	546
110	8	65	8	9	3	12	27	38	47	27	6	3	4	249
110	9	7	5	6	6	17	102	121	120	117	49	9	7	566
110	10	24	6	4	6	11	26	24	47	34	9	4	3	198

STA	YEAR	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	TOTAL
111	6	10	13	15	77	72	382	360	760	1524	2341	320	83	5957
111	7	131	43	64	53	72	153	136	517	596	333	273	70	2441
111	8	213	48	32	10	37	90	145	291	205	29	23	21	1144
111	9	31	21	25	23	54	281	384	532	508	258	79	42	2236
111	10	85	32	18	26	38	80	98	226	232	45	31	18	929

MAXIMUM VOLUMES FOR PERIOD 2 OF 5 YEARS OF SYNTHETIC FLOWS

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	9	2	74	29	45	92	38	18	15	4	1	0	92	218	858	14
110	65	8	28	22	22	200	135	225	614	494	67	16	614	1735	3340	56
111	213	48	64	77	72	382	384	760	1524	2341	320	83	2341	5687	12574	212
996	286	58	166	125	122	675	538	1003	2153	2840	389	99	2840	7592	16772	282

MINIMUM VOLUMES

STA	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1-MO	6-MO	54-MO	AV MO
107	0	1	2	6	21	22	8	12	2	1	1	0	0	6	715	
110	2	4	4	3	11	26	24	47	27	6	3	3	2	31	3112	
111	10	13	15	10	37	80	98	226	205	29	23	18	10	143	12136	
996	13	18	21	18	70	127	130	287	234	36	26	22	13	189	15963	

ภาคผนวก 7.1

EXHIBIT 7

INPUT DATA 723-X6-L2340

CARD	VARIABLE		COMMENTS
A			Three title cards, first must have A in column 1.
B			First specification card.
	1. IYRA	-	Earliest year of record at any station.
	2. IMNTH	-	Calendar month number of first month of water year.
	3. IANAL	-	Indicator, positive value calls for statistical analysis routines.
	4. MXRCS	-	Number of years in each period of recorded and reconstituted flows for which maximum and minimum values are to be obtained, dimensioned for 100.
	5. NYRG	-	Total number of years of hypothetical flows to be generated.
	6. NYMXG	-	Number of years in each period of generated flows which maximum and minimum values are to be obtained, dimensioned for 100.
	7. NPASS	-	Number of consecutive passes, each pass consisting of a new group of stations which can be correlated with specified stations in previous passes, dimensioned for 20.
	8. IPCHQ	-	Indicator, positive value calls for writing recorded and reconstituted flows and generated flows on Tape 7.
	9. IPCHS	-	Indicator, positive value calls for writing statistics on Tape 7.
	10. NSTA	-	Number of stations at which flows are to be generated, not required if flow data are supplied, dimensioned for 10.
C			Second specification card.
	1. NCOMB	-	Number of combinations of stations, the totals of which are used to obtain maximum and minimum flows, dimensioned for 2.
	2. NTNDM	-	Number of tandem situations, compares sum of monthly values of upstream stations with downstream station and adjusts if value is less than sum and that station's value has been estimated or generated, dimension for 10.
	3. NCSTY	-	Number of consistency tests. Adjusts standard deviation of a dependent station in tandem with an independent station to prevent frequency curves from crossing, dimensioned for 10.
	4. IGNRL	-	Indicator, + 1 calls for reading generalized statistics and using for generation, + 2 calls for computing generalized statistics from flow data and using for generation.
	5. NPROJ	-	Number of projections of future flows from present conditions, usually 0.
	6. IYRPJ	-	Year of start of each projection.
	7. MTHPJ	-	Calendar month of start of each projection.
	8. LYRPJ	-	Last year of each projection, number of recorded and reconstituted years plus number of projected years dimensioned for 100.

CARD	VARIABLE	COMMENTS
D		Identification of combination, NCOMB (C-1) sets of D and E cards.
	1. NSTAC	- Number of stations in this combination, dimensioned for 10.
	2. ISTAC	- Station number (NSTAC values).
E		Combining coefficients, NCOMB (C-1) sets of D and E cards.
	1. NSTAC	- Same as D-1.
	2. CSTAC	- Coefficient of flow used for adding, corresponds to respective items in D-2.
F		Identification of tandem situation, NTNDM (C-2) cards.
	1. ISTN	- Station number of downstream station.
	2. NSMX	- Number of upstream stations, dimensioned for 10.
	3. ISTT	- Station number of upstream station (NSMX values).
G		Identification of consistency test, NCSTY (C-3) cards.
	1. ISTX	- Independent station number.
	2. ISTY	- Dependent station number.
H		Flow data, cards in any order, omit if IANAL (B-3) is not positive, follow all flow data cards by 1 blank card (I card).
	1. Cols 2-4, Station number	
	2. Cols 5-8, Year number.	
	3. Cols 9-14, 15-20, etc., Flow in desired units. Units should be selected so generated flows will not exceed 999,999. Use -1 for missing record. If record for entire year is missing, omit card for that year.	
I		Card blank after Col 1 to indicate end of flow data, omit if IANAL (B-3) is not positive.
J		Identification of stations in previous passes to be used in current pass, supply only if NPASS (B-7) is greater than 1.
	1. NSTX	- Number of stations from previous passes which are to be used with the additional data in current pass as a means of maintaining consistent flows between groups of stations, number of stations from previous passes plus number of new stations dimensioned for 10.
	2. ISTA	- Station number of station in a previous pass which is to be used in current pass (NSTX values). Must be in same order as stations first appear.

Note: Flow data for current pass supplied as described for H card and follow data with a blank card (I card), supply NPASS-1 sets of J, H, and I cards when NPASS greater than 1.

CARD	VARIABLE	COMMENTS
K		Preceding-month correlation coefficients for first station, omit if IANAL (B-3) is positive (NSTA cards).
	1. ISTA(K)	- Cols 2-4, Number of first station.
	2. ISTA(L)	- Cols 5-8, Number of station from 1 to NSTA (B-10) on successive cards. If IGNRL (C-4) = 1, only first card is used.
	3. RA(I,K,LX)	- Cols 9-14, 15-20, etc., Correlation coefficients for successive months between flows at first station and preceding-month flows at stations from 1 to NSTA (B-10) on separate cards. If IGNRL (C-4) = 1, only generalized coefficient (in cols 9-14) is given.
L*		Current-month correlation coefficients, omit if IANAL (B-3) is positive, (NSTA-1) pairs of L and M cards.
	1. ISTA(K)	- Cols 2-4, Number of station, progressing from K = 2 through NSTA (B-10) stations on different sets of L and M cards.
	2. ISTA(L)	- Cols 5-8, Number of station, progressing on different cards through all stations from L = 1 to K-1.
	3. RA(I,K,L)	- Cols 9-14, 15-20, etc., Correlation coefficient for each successive calendar month between flows at station K and concurrent flows at station L (12 items). If IGNRL (C-4) = 1, only generalized coefficient in cols 9-14 is given.
M*		Preceding-month correlation coefficients for remaining stations, omit if IANAL (B-3) is positive. Paired with L card.
	1. ISTA(K)	- Cols 2-4, Same station number as on corresponding L card (L-1).
	2. ISTA(L)	- Cols 5-8, Number of station, progressing in same order on different cards through all stations from L = 1 to NSTA (B-10). If IGNRL (C-4) = 1, only card with L = K is used.
	3. RA(I,K,LX)	- Cols 9-14, 15-20, etc., Correlation coefficient for each successive calendar month between flows at station K and flows in preceding month at station L (12 items). If IGNRL (C-4) = 1, only generalized coefficient in Cols 9-14 is given.
N		Generalized frequency statistics, omit if IANAL (B-3) is positive or IGNRL (C-4) does not equal 1.
	1. ISTA(K)	- Cols 2-3, Station number for NSTA (B-10) stations on successive cards in same order as supplied by L cards (L-1).
	2. AVMX(K)	- Cols 9-14, Average mean logarithm for wet season (3 months)
	3. AVMN(K)	- Cols 15-20, Average mean logarithm for dry season (3 months).
	4. SDAV(K)	- Cols 21-26, Average standard deviation for the 12 months.

Sets of L and M cards are required for each station from K = 2 to NSTA.

CARD	VARIABLE	COMMENTS
N (Cont'd)		
	5. MOMX(K)	- Calendar number of last month of wet season.
	6. MOMN(K)	- Calendar number of last month of dry season.
O		Mean logarithms, omit if IANAL (B-3) is positive or IGN (C-4) equals 1.
	1. ISTA(K)	- Same as (M-1).
	2. AV(I,K)	- Cols 9-14, 15-20, etc., Mean logarithms for successive calendar months.
P		Standard deviations, omit if IANAL (B-3) is positive or IGNRL (C-4) equals 1.
	1. ISTA(K)	- Same as (M-1).
	2. SD(I,K)	- Cols 9-14, 15-20, etc., Standard deviations for successive calendar months.
Q		Skew coefficients, omit if IANAL (B-3) is positive or IGNRL (C-4) equals 1.
	1. ISTA(K)	- Same as (M-1).
	2. SKEW(I,K)	- Cols 9-14, 15-20, etc., Skew coefficients for successive calendar months.
R		Flow increments, omit if IANAL (B-3) is positive or IGNRL (C-4) equals 1.
	1. ISTA(K)	- Same as (M-1).
	2. DQ(I,K)	- Cols 9-14, 15-20, etc., Flow increments for successive calendar months.

Five blank cards with A in Col 1 of first should follow last job.

Note: Cards K through R are not required if cards H and I are supplied. Cards K through R are as punched by computer when IPCHS is positive.

ภาคผนวก 7.2

HEC4 (PC Version)

Monthly Streamflow Simulation

---

1. Installation

1.1 สร้าง Subdirectory c:\HEC4

Copy files ซึ่งประกอบด้วย

- HEC4PC.EXE
- HEC4READ.ME
- HEC4TEST.DAT (ตัวอย่าง input data file)

เข้าไปใน c:\HEC4

1.2 สร้าง Config.Sys ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

DEVICE = ANSI.SYS

BREAK = ON

BUFFERS = 24

FILES = 20

ใส่ ANSI.SYS ไว้ใน c:\

- run program โดยพิมพ์คำว่า HEC4PC
- เตรียมข้อมูลไว้ใน Input Data File เช่น H4TEST.DAT ซึ่งอยู่ใน Subdirectory c: HEC4
- ก่อน run program ต้องมี System Files (H4TP7.DAT, H4TP8.DAT และ H4TP9.DAT) และ Output Data File (HEC4.OUT)

แบบปฏิบัติการที่ 7

การจำลองน้ำท่ารายเดือนด้วย HEC-4

ในการประเมินปริมาณน้ำต้นทุนที่จะไหลลงอ่างเก็บน้ำโครงการเขื่อนมูลบน ได้พิจารณาใช้ข้อมูลของสถานีตรวจวัดน้ำ M.49B ที่บริเวณหัวงานโครงการ แต่เนื่องจากสถานี M.49B มีสถิติการตรวจวัดปริมาณน้ำอยู่เพียง 9 ปี (ระหว่าง 1974-1982) ซึ่งไม่ยาวนานเพียงพอที่จะนำไปพิจารณาประยุกต์ใช้ในการวางโครงการที่เหมาะสมได้

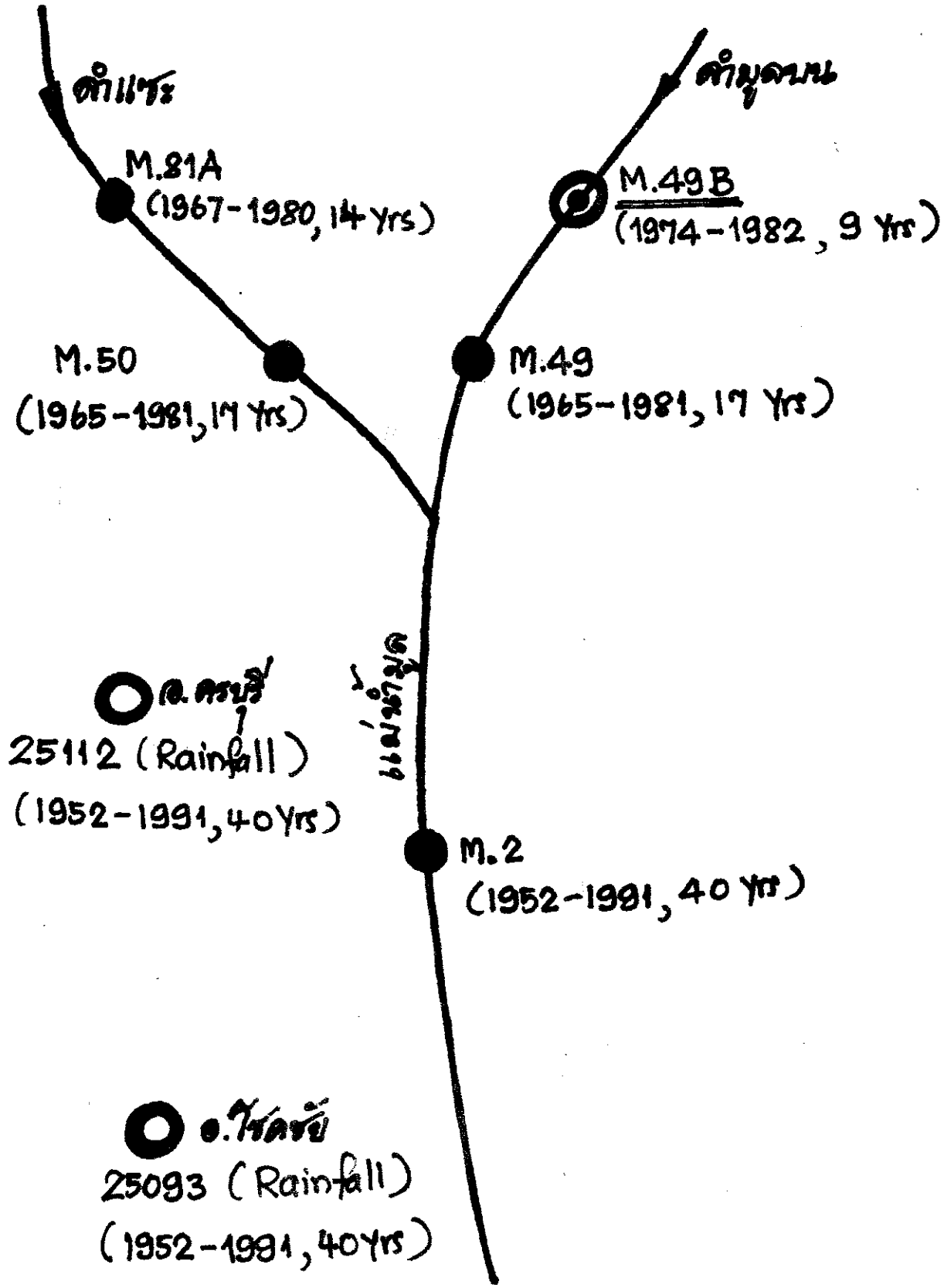
จึงใช้โปรแกรม HEC-4 ขยายสถิติข้อมูลของสถานี M.49B ให้ยาวขึ้น

กำหนดให้

1. แผนที่แสดงจุดที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำจำนวน 5 สถานี และสถานีตรวจวัดน้ำฝนจำนวน 2 สถานี ในเขตลำน้ำมูล และลำน้ำข้างเคียง ดังแสดงในรูปที่ 7.1

2. ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี M.49B, M.49, M.81A, M.50 และ M.2 ดังแสดงในตารางที่ 7.3 ถึง 7.7

3. ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนของสถานี 25112 และ 25093 ดังแสดงในตารางที่ 7.8 และ 7.9



รูปที่ 7.1 แผนที่แสดงจุดที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำ

และสถานีวัดน้ำฝน

ตารางที่ 7.3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี M.49B แม่น้ำมูลที่บ้านนา อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

ปี													
1974	0.459	1.990	5.580	2.170	10.200	12.300	21.100	17.600	8.950	1.070	0.410	0.370	76
1975	0.037	0.519	6.610	15.100	15.900	56.900	44.400	7.040	2.490	0.770	0.480	0.960	151
1976	0.226	0.795	4.550	9.470	25.000	39.800	32.600	23.400	3.690	1.010	0.968	0.224	141
1977	0.156	0.995	0.209	1.960	3.620	13.500	12.800	4.050	1.200	0.270	0.151	0.116	29
1978	0.091	9.320	6.040	85.700	32.200	26.000	33.700	9.750	1.400	0.770	0.831	0.089	143
1979	0.120	1.410	2.020	6.570	7.210	9.210	8.710	1.110	0.350	1.170	1.480	1.500	41
1980	1.400	1.230	8.510	5.070	6.950	20.700	37.400	10.800	1.610	0.554	0.200	0.170	89
1981	0.710	2.150	7.900	9.020	15.400	21.700	16.600	10.500	2.630	0.920	0.440	0.780	89
1982	0.934	0.704	2.230	6.540	19.900	39.800	12.600	4.090	2.160	0.816	0.482	0.451	91
เฉลี่ย	0.460	1.390	4.290	10.170	15.090	26.590	24.430	9.150	2.160	0.820	0.480	0.450	95

ตารางที่ 7.4 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี M.49 แม่น้ำมูลที่บ้านหนองโสน อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

ปี													
1965	0.936	1.650	3.200	9.230	14.700	29.300	42.400	8.200	2.120	0.670	0.391	0.197	113
1966	0.212	1.480	1.320	10.600	16.400	27.300	12.200	5.070	0.864	0.557	0.378	0.214	77
1967	0.161	1.620	1.290	6.240	23.100	19.300	36.500	2.730	1.260	0.514	0.192	0.122	93
1968	0.241	2.200	1.130	2.910	3.320	3.860	2.350	1.290	0.261	0.050	0.041	0.107	18
1969	0.311	2.490	5.420	15.700	24.600	65.300	21.500	6.100	2.060	0.783	0.233	0.097	145
1970	0.444	0.471	0.462	3.810	11.400	10.100	6.470	3.770	1.080	0.662	0.466	0.461	40
1971	0.309	0.550	2.750	4.100	6.690	11.300	10.800	3.130	0.959	0.650	0.441	0.398	42
1972	0.772	0.820	2.160	13.200	19.800	100.000	83.600	32.700	11.400	3.680	1.650	1.230	271
1973	0.892	0.612	0.974	2.530	4.580	13.300	18.700	3.410	1.210	0.900	0.650	1.000	49
1974	0.853	1.290	5.000	3.720	11.900	12.800	20.700	15.500	2.360	1.090	0.910	0.953	77
1975	0.779	1.760	6.300	11.600	13.800	56.600	44.300	4.000	2.310	1.860	2.120	1.990	147
1976	1.450	1.870	3.330	5.200	29.200	45.700	42.100	26.200	2.960	2.020	1.540	1.600	166
1977	1.570	2.210	1.840	3.180	4.970	17.800	20.100	5.520	2.550	1.800	1.520	1.540	65
1978	1.880	3.070	5.180	37.900	33.600	26.000	41.100	3.170	2.360	2.360	2.220	1.960	161
1979	1.470	2.470	4.000	9.500	9.380	12.700	12.900	2.870	1.690	1.830	1.900	1.650	62
1980	1.880	1.500	2.700	6.360	7.260	22.800	43.600	9.020	2.240	2.060	1.980	1.800	103
1981	1.760	2.360	7.390	7.940	15.800	24.300	18.500	8.050	2.540	2.450	1.880	1.620	95
เฉลี่ย	0.940	1.650	3.200	9.230	14.740	29.320	28.110	8.260	2.370	1.410	1.100	1.000	101

ตารางที่ 7.5 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี M.81A ลำแชะที่บ้านมาบกราด อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

ปี	มค.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	รวมปี
1967	0.222	0.859	4.820	37.600	64.200	42.300	47.00	9.630	1.900	0.866	0.364	0.235	204
1968	0.108	1.310	1.670	6.330	12.900	12.400	5.250	0.624	0.239	0.060	0.021	0.008	41
1969	0.408	2.020	6.890	28.100	40.900	85.300	29.700	10.700	3.050	0.942	0.345	0.207	208
1970	0.222	0.301	2.570	19.900	24.000	23.400	18.000	6.090	2.700	0.942	0.324	0.220	100
1971	0.113	0.533	9.500	24.900	27.800	32.800	88.100	7.480	1.970	0.507	0.275	0.144	143
1972	0.260	0.132	3.480	96.700	35.800	115.000	79.000	29.400	7.780	2.470	0.813	0.430	311
1973	0.000	0.105	2.470	11.800	14.800	99.400	92.500	6.900	2.280	0.295	0.017	0.525	110
1974	0.154	4.290	32.600	15.300	36.600	21.500	89.900	16.300	4.090	1.160	0.174	0.040	172
1975	0.282	0.953	24.600	83.600	84.300	75.200	77.300	9.130	2.660	0.974	0.483	0.263	260
1976	0.378	1.400	9.590	25.900	40.900	61.900	47.000	29.300	4.060	1.260	0.676	0.528	223
1977	0.470	8.250	2.830	14.100	17.200	50.800	20.900	6.850	2.810	0.990	1.230	1.060	122
1978	0.900	6.810	19.600	48.700	61.400	94.400	87.800	9.170	1.900	0.798	0.530	0.250	216
1979	0.000	1.980	7.460	26.800	29.100	25.400	14.600	2.990	2.280	1.490	1.330	0.760	114
1980	1.440	0.656	12.700	27.100	27.500	44.100	47.900	18.600	3.640	1.740	1.900	1.610	189
เฉลี่ย	0.350	1.760	10.050	25.420	33.980	47.350	38.210	11.000	2.870	1.040	0.620	0.450	172

ตารางที่ 7.6 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี M.50 ลำแชะที่หน้า อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา

ปี	มค.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	รวมปี
1965	10.100	10.600	15.900	23.100	97.600	71.000	51.800	12.700	6.130	2.420	1.850	0.577	248
1966	0.596	4.910	5.750	13.400	18.500	38.300	11.200	24.000	17.500	14.700	0.735	0.564	144
1967	0.574	1.180	3.870	17.800	80.800	20.500	48.000	7.050	2.100	1.040	0.822	0.562	129
1968	0.634	1.230	10.700	20.000	24.300	29.900	26.300	19.400	18.700	13.800	8.900	8.620	182
1969	6.860	12.500	13.400	37.200	52.900	79.500	29.600	8.600	5.950	6.980	2.870	3.880	258
1970	2.450	8.940	12.200	32.500	21.500	20.500	24.900	19.100	18.900	17.000	14.200	15.000	201
1971	13.200	10.900	15.500	24.700	27.800	46.200	47.400	21.500	19.200	17.200	15.000	14.100	275
1972	13.500	5.100	9.640	19.500	23.700	104.000	74.700	38.100	24.800	20.000	15.200	14.800	363
1973	13.700	9.940	7.560	14.800	16.900	34.800	44.600	17.500	18.600	16.700	14.400	18.400	225
1974	16.400	16.800	25.800	22.500	27.900	25.800	53.200	26.100	21.200	19.200	15.900	17.100	288
1975	14.600	10.600	16.800	36.600	21.900	66.400	89.700	19.100	19.700	18.600	16.200	16.900	347
1976	14.700	12.900	15.100	82.600	57.400	95.200	91.300	66.800	19.600	16.000	13.000	14.600	449
1977	13.800	19.100	15.800	23.800	40.000	80.200	40.500	22.500	22.000	18.700	15.200	15.900	327
1978	15.100	23.400	36.800	118.000	118.000	59.500	98.700	19.100	17.600	16.200	13.500	14.000	550
1979	11.900	13.600	16.000	35.400	38.200	40.800	53.600	17.900	15.800	14.500	12.900	14.500	285
1980	11.400	7.110	14.000	25.800	31.700	52.500	86.900	31.900	19.900	17.000	14.000	13.800	325
1981	12.000	16.900	36.400	54.900	51.500	33.900	37.200	37.300	31.200	20.900	14.400	15.900	362
เฉลี่ย	10.050	10.590	15.920	32.510	37.330	53.000	53.140	24.030	17.540	14.660	11.090	11.580	291

ตารางที่ 7.7 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของสถานี M.2 แม่น้ำมูลที่บ้านท่าช้าง อ.จักราช จ.นครราชสีมา

ปี	ม.ค.	พ.ค.	มี.ค.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
1952	1.890	1.800	2.810	9.360	36.900	68.200	819.000	190.000	17.200	5.670	2.070	1.880	657.000
1953	0.596	0.418	2.960	59.500	68.200	176.000	221.000	104.000	19.700	5.730	1.900	1.470	641.000
1954	0.736	0.814	0.997	1.030	9.610	73.200	194.000	7.920	1.540	1.120	0.822	0.957	292.000
1955	0.712	2.230	10.100	79.000	30.700	89.200	126.000	150.000	29.700	5.000	1.780	1.290	521.000
1956	0.917	2.610	8.460	60.400	52.900	95.000	241.000	86.200	16.100	7.080	0.996	8.960	531.000
1957	0.578	0.974	8.050	2.870	89.000	99.400	746.000	84.200	14.800	3.830	1.180	0.898	1001.000
1958	0.899	0.422	0.065	13.600	73.100	214.000	287.000	74.900	6.940	2.270	1.170	0.914	675.000
1959	1.110	0.789	0.958	0.629	4.320	65.100	806.000	43.900	9.240	3.810	1.430	1.090	937.000
1960	0.720	0.521	0.957	0.553	6.936	38.200	697.000	49.900	17.100	5.640	2.260	1.540	814.000
1961	1.670	9.060	13.900	11.000	33.500	61.900	95.900	23.000	5.010	2.050	1.360	1.120	258.000
1962	0.900	1.390	1.900	6.930	35.300	190.000	335.000	29.200	7.360	3.330	1.420	1.200	608.000
1963	5.890	0.861	0.534	0.636	31.700	102.000	240.000	140.000	20.600	3.910	1.670	1.130	549.000
1964	0.744	29.600	86.800	12.900	10.000	55.500	335.000	105.000	10.900	2.600	1.130	1.100	630.000
1965	0.972	0.459	0.910	8.460	11.900	168.000	234.000	30.900	6.250	2.860	0.968	0.410	466.000
1966	0.250	19.800	38.900	5.250	35.200	177.000	66.200	36.800	18.800	6.960	3.390	0.514	429.000
1967	0.204	4.090	3.640	2.100	19.200	57.200	141.000	46.100	24.800	4.790	0.158	0.070	303.000
1968	0.015	0.502	0.368	0.791	0.933	11.600	11.500	2.270	0.492	0.326	0.074	0.094	29.000
1969	0.096	0.000	0.736	22.500	57.100	203.000	171.000	59.000	12.100	3.080	0.649	0.356	530.000
1970	1.010	0.422	1.680	10.400	72.300	43.400	45.200	58.800	18.400	5.230	1.140	0.418	258.000
1971	0.221	0.226	1.780	18.800	32.300	92.700	89.100	47.900	8.130	1.540	0.433	0.232	293.000
1972	0.306	0.010	1.210	1.240	37.800	105.000	402.000	158.000	88.100	9.080	1.510	0.664	805.000
1973	0.496	0.347	0.430	6.290	3.690	53.500	190.000	22.100	10.200	1.620	0.491	0.625	290.000
1974	0.785	0.507	7.230	18.500	35.100	77.100	66.000	125.000	39.600	3.760	1.170	1.040	391.000
1975	0.535	0.042	2.870	74.800	28.600	218.000	940.000	67.100	12.400	2.450	0.890	0.500	748.000
1976	0.555	0.318	8.050	18.800	59.300	197.000	230.000	394.000	331.000	7.070	8.110	2.790	1192.000
1977	8.000	13.700	8.290	12.600	52.700	173.000	121.000	44.600	31.700	10.900	11.900	18.800	501.000
1978	11.400	15.500	18.700	96.100	116.000	97.600	223.000	87.000	17.500	5.280	2.800	1.850	643.000
1979	0.890	0.840	4.200	23.000	15.600	49.900	94.600	16.000	7.850	1.620	0.590	1.070	216.000
1980	6.960	1.090	9.630	15.000	25.700	103.000	256.000	198.000	19.400	4.150	1.210	1.220	591.000
1981	0.720	8.080	15.100	80.900	40.700	41.900	84.000	65.900	20.200	4.210	1.780	1.680	368.000
1982	0.000	8.740	7.290	7.980	30.500	211.000	82.800	36.800	14.600	3.580	5.620	0.580	405.000
1983	0.000	0.000	0.000	0.870	95.200	136.000	925.000	252.000	82.700	11.900	2.680	0.750	1457.000
1984	0.704	11.000	11.400	9.140	21.800	54.600	148.000	46.600	17.900	1.270	0.000	0.000	323.000
1985	1.970	44.500	28.900	86.500	48.900	136.000	167.000	97.500	83.200	4.880	0.689	0.949	650.000
1986	1.840	14.400	4.880	0.764	49.000	62.400	238.000	60.500	19.000	4.000	0.618	1.880	458.000
1987	2.840	1.210	2.850	1.370	6.200	96.200	86.600	60.900	27.100	4.590	8.790	5.110	298.000
1988	12.000	49.900	21.500	19.800	48.700	94.700	224.000	105.000	89.200	4.710	1.550	4.460	620.000
1989	1.060	8.990	8.920	21.500	29.500	42.800	108.000	93.200	8.940	1.230	1.110	1.230	267.000
1990	7.900	8.690	5.900	2.210	7.290	21.900	949.000	233.000	44.600	21.200	8.600	24.100	780.000
1991	14.100	16.000	20.600	7.770	152.000	144.000	261.000	33.600	14.200	7.910	6.210	5.890	684.000
เฉลี่ย	2.170	6.440	8.050	18.990	38.980	105.390	250.950	81.990	27.150	4.790	2.060	2.370	549.000

ตารางที่ 7.8 STATION-25112 A.Khon Buri Nakhon Ratchasima

MONTHLY RAINFALL IN MILLMETER

Water Year	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual	Days
1952	100.0	186.0	168.1	53.0	79.0	70.0	269.4	0.0	0.0	0.0	98.6	65.7	1116.9	78
1953	128.1	129.7	179.9	214.9	65.6	82.2	81.8	0.0	0.0	0.0	0.0	29.8	810.9	65
1954	66.2	217.5	48.5	153.0	150.5	241.4	62.6	0.0	0.0	0.0	21.8	89.3	1020.8	74
1955	109.5	222.5	135.9	76.7	110.3	273.8	100.3	200.3	0.0	0.0	16.7	18.9	1264.9	70
1956	86.9	65.7	91.8	247.1	140.6	186.5	282.2	27.0	0.0	0.0	1.5	151.2	1221.4	74
1957	9.8	151.2	42.5	127.6	121.5	168.8	143.7	22.0	0.0	6.0	0.0	0.0	793.2	43
1958	84.0	27.5	11.0	231.9	149.2	308.2	191.7	0.0	0.0	0.0	9.0	12.0	964.5	43
1959	75.0	45.5	96.4	175.8	111.8	512.0	225.5	8.0	0.0	0.0	0.0	19.4	1269.4	59
1960	63.7	173.6	103.0	84.5	54.0	88.5	242.8	66.5	0.0	0.0	6.0	82.8	864.9	41
1961	0.0	79.0	89.5	44.2	70.9	159.1	184.2	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0	684.9	45
1962	114.9	104.9	8.0	8.0	40.6	266.8	107.6	0.0	0.0	0.0	0.0	61.0	-	-
1963	107.5	206.0	87.4	85.4	172.8	230.0	142.9	63.5	0.0	0.0	5.8	46.0	1099.3	67
1964	174.1	312.2	33.8	244.9	122.8	214.2	201.8	24.2	0.0	0.0	44.1	140.9	1518.0	82
1965	126.0	218.2	67.5	74.9	197.0	360.0	362.0	24.7	0.0	0.0	11.1	2.2	1443.6	109
1966	147.4	360.0	77.5	82.5	230.9	399.0	101.8	18.5	16.4	0.0	0.0	0.0	1454.0	81
1967	111.5	178.4	142.6	106.3	119.6	287.6	87.2	25.4	0.0	0.0	0.0	66.0	1119.6	77
1968	97.3	61.9	108.8	123.2	56.5	210.0	75.0	0.0	0.0	4.8	0.0	145.9	882.8	69
1969	94.5	26.0	128.9	71.1	145.9	218.5	128.5	21.0	0.0	0.0	35.4	37.2	906.4	76
1970	198.4	153.6	179.7	25.2	155.4	89.2	97.1	12.6	48.1	4.6	0.0	77.0	1035.0	78
1971	30.0	134.0	146.2	44.2	43.7	178.3	44.0	0.0	0.0	0.0	0.2	98.0	718.6	48
1972	34.3	8.2	184.9	3.4	23.2	373.6	115.5	148.7	0.0	0.0	0.0	48.5	890.3	56
1973	49.2	106.8	98.5	186.2	63.2	333.9	77.2	35.9	0.0	40.6	18.5	147.5	1159.5	73
1974	92.1	88.5	11.0	119.4	72.4	180.8	291.0	107.9	0.0	0.0	0.0	133.0	1096.1	79
1975	98.8	109.7	120.0	295.0	131.8	218.3	176.2	32.2	0.0	0.0	0.0	79.6	1293.6	76
1976	0.0	73.4	80.2	99.1	185.7	153.1	400.9	15.9	0.0	0.0	0.0	51.0	1019.3	70
1977	22.4	214.3	21.7	44.7	226.1	142.9	83.6	50.2	0.0	10.0	20.3	102.0	846.4	56
1978	82.7	180.5	63.4	124.7	33.6	146.4	92.6	60.8	0.0	0.0	0.0	11.6	686.3	70
1979	169.6	51.8	95.2	12.2	112.6	206.1	40.9	0.0	0.0	0.0	101.5	11.8	759.6	59
1980	20.9	73.5	97.5	123.3	63.8	224.4	206.9	6.0	0.0	0.0	21.2	32.0	868.5	61
1981	91.3	78.9	17.0	100.4	90.6	122.2	78.0	99.5	0.0	0.0	10.0	137.1	764.4	65
1982	25.9	136.4	49.4	49.9	123.0	250.4	172.7	40.9	0.0	0.0	0.0	30.0	878.6	70
1983	20.6	17.0	49.3	159.8	158.8	216.5	183.5	48.7	0.0	0.0	9.0	21.2	884.4	76
1984	45.9	57.0	102.2	100.2	81.3	226.6	115.4	28.8	0.0	40.7	20.6	50.6	869.8	61
1985	177.6	77.0	87.9	97.4	25.0	182.1	209.6	16.9	0.0	0.0	0.0	6.0	872.9	74
1986	82.9	51.8	8.0	62.7	253.9	168.7	148.8	0.0	7.0	0.0	10.5	66.4	860.7	62
1987	54.1	83.1	186.5	27.8	69.9	199.8	42.2	181.6	0.0	0.0	91.4	42.2	928.4	71
1988	173.7	90.9	90.2	81.0	83.3	209.7	171.0	0.0	0.0	7.0	0.0	44.8	951.6	80
1989	12.3	146.0	120.5	72.5	84.1	104.6	173.0	20.4	0.0	0.0	0.0	64.7	798.1	79
1990	143.6	121.4	57.2	35.3	91.4	153.4	169.5	26.4	0.0	0.0	0.0	75.0	867.2	71
1991	25.5	191.9	113.1	97.6	219.4	140.3	102.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	890.7	70
Average	80.9	124.2	86.6	104.1	112.3	211.3	151.2	34.6	1.8	2.8	19.8	53.8	977.5	
Rainy Days	4.7	8.4	7.3	8.6	9.8	12.6	9.4	2.3	0.2	0.2	1.1	3.1	67.6	

ตารางที่ 7.9 STATION-25093 A.Chok Chai Nakhon Ratchasima

MONTHLY RAINFALL IN MILLMETER

Water Year	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual	Days
1952	26.5	116.0	184.1	57.1	117.6	68.9	333.3	0.0	0.0	4.5	70.4	27.7	1006.1	73
1953	56.8	39.0	114.2	143.1	162.8	230.9	191.4	98.4	3.5	0.0	2.8	43.0	1025.9	73
1954	20.5	127.4	36.7	134.6	113.7	233.4	73.3	0.0	0.0	0.0	2.9	40.5	-	-
1955	78.9	69.8	305.8	94.1	120.0	369.7	59.2	53.8	0.0	0.0	3.0	12.5	1166.8	63
1956	124.0	107.7	11.0	260.2	77.8	222.8	191.2	9.5	0.0	0.0	0.0	64.0	1058.2	37
1957	23.5	36.1	73.6	170.5	86.6	321.8	205.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	923.8	38
1958	0.0	-	-	77.1	265.0	227.6	121.6	0.0	0.0	0.0	47.7	0.0	-	-
1959	32.8	94.9	96.7	93.5	40.5	558.6	208.2	15.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1079.7	50
1960	42.1	83.4	88.6	91.4	114.8	202.7	314.8	97.2	0.0	0.0	16.2	61.7	1052.9	93
1961	108.6	358.1	113.0	54.6	30.7	79.8	123.5	0.0	0.0	0.0	0.0	44.8	913.1	60
1962	-	155.9	68.9	92.5	83.7	312.0	204.8	63.0	5.0	0.0	0.0	33.8	-	-
1963	77.3	97.4	198.9	68.0	110.9	190.9	135.1	24.3	0.0	1.0	9.4	61.5	969.7	67
1964	22.6	210.0	41.6	134.3	107.7	267.6	69.0	8.1	0.0	0.0	102.4	29.2	1012.5	71
1965	28.2	150.7	70.7	27.3	153.0	207.0	199.3	49.3	0.3	0.0	20.0	74.1	979.9	92
1966	53.4	518.5	26.5	171.4	208.9	168.5	179.0	34.2	9.3	54.3	1.4	3.5	1428.9	110
1967	33.4	64.1	102.7	43.3	61.9	212.2	130.2	51.6	0.0	15.0	0.3	25.8	740.5	89
1968	146.5	62.6	96.8	63.7	43.1	144.1	52.2	0.0	0.0	76.3	0.0	37.5	723.0	77
1969	37.4	181.5	136.6	99.5	100.2	295.4	187.7	38.1	0.0	5.7	10.7	45.2	1141.0	130
1970	111.5	103.3	146.6	77.7	301.0	186.8	124.1	2.5	19.8	4.3	16.4	17.0	1113.0	123
1971	73.4	185.9	155.4	129.1	111.4	196.5	124.2	0.0	0.0	0.0	3.5	96.6	1078.0	109
1972	100.4	27.3	217.1	47.4	44.3	371.1	193.0	128.6	2.3	0.0	2.4	39.2	1179.1	110
1973	56.2	224.0	45.4	131.4	49.5	296.9	88.8	15.3	0.0	5.5	32.4	83.6	1028.0	117
1974	88.9	321.9	65.3	121.4	84.2	209.3	148.6	111.7	0.0	39.4	38.6	48.1	1277.4	117
1975	0.0	172.5	124.5	197.8	79.4	344.5	141.8	76.4	0.3	0.0	9.7	68.6	1215.5	117
1976	53.1	105.4	114.7	187.8	296.6	177.9	379.3	9.0	0.0	0.0	5.5	1.4	1332.7	129
1977	49.8	194.0	72.7	166.2	266.5	175.4	103.9	20.7	0.0	0.3	18.5	20.2	1088.2	109
1978	113.8	187.3	132.6	216.1	63.9	316.3	69.5	31.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1131.7	106
1979	99.8	191.1	172.4	110.4	86.5	311.9	63.9	0.0	0.0	0.0	5.6	35.3	1076.9	91
1980	110.4	88.6	190.4	88.1	219.0	223.4	182.7	12.4	0.0	0.0	5.7	11.9	1132.6	120
1981	152.2	131.9	39.5	176.9	106.5	173.5	122.1	95.1	0.5	0.0	2.9	116.1	1116.6	121
1982	15.2	109.9	83.0	70.8	143.1	366.9	122.2	10.0	0.0	0.9	0.0	10.5	951.9	110
1983	26.2	80.5	47.1	236.7	289.8	324.3	553.8	56.0	2.6	0.0	27.1	34.3	1478.4	116
1984	104.0	78.2	165.0	62.0	95.9	175.8	218.2	42.7	0.0	94.9	11.1	1.4	989.2	105
1985	191.7	122.1	45.1	209.3	46.6	227.8	190.5	39.8	0.0	0.0	8.7	0.0	1075.6	116
1986	89.0	147.4	65.2	118.5	172.1	141.1	244.1	0.0	4.2	0.0	14.1	19.1	1015.1	105
1987	76.6	105.4	118.7	26.2	94.5	374.8	81.6	98.3	0.0	0.0	64.9	15.8	1056.8	125
1988	145.9	102.0	112.4	159.9	77.6	257.3	223.0	0.0	0.0	1.6	0.0	75.7	1155.4	109
1989	27.0	198.2	156.4	78.2	187.8	99.2	187.8	50.8	0.0	9.2	5.9	49.8	1049.8	109
1990	28.1	216.8	85.3	36.8	145.6	101.8	215.1	50.9	0.0	0.0	0.2	4.2	886.8	109
1991	30.7	145.3	100.8	44.1	333.7	176.1	138.4	0.0	4.3	6.3	3.5	15.2	898.4	114
Average	68.3	144.9	108.1	114.1	129.9	239.0	167.6	32.7	1.3	6.5	14.1	34.4	1061.1	
Rainy Days	6.3	12.8	11.2	11.6	13.3	17.1	11.9	3.7	0.5	0.9	2.2	3.6	95.0	