วิทยานิพนธ์

การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง : กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

APPLICATION OF A GENETIC ALGORITHM FOR REAL TIME WATER ALLOCATION : A CASE STUDY OF SONG PHI NONG IRRIGATION PROJECT

นายณัฐวุฒิ สร้อยประเสริฐ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง : กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

Application of a Genetic Algorithm for Real Time Water Allocation : A Case Study of Song Phi Nong Irrigation Project

โดย

นายณัฐวุฒิ สร้อยประเสริฐ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)
พ.ศ. 2550

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน	วิศวกรรมชลประทาน
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง : กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

Application of a Genetic Algorithm for Real Time Water Allocation : A Case Study of Song Phi Nong Irrigation Project

นามผู้วิจัย นายณัฐวุฒิ สร้อยประเสริฐ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์กัมปนาท ภักดีกุล, Ph.D.)

กรรมการ .....

(อาจารย์เลอศักดิ์ ริ้วตระกูลไพบูลย์, วศ.ม.)

กรรมการ .....

(รองศาสตราจารย์พันธุ์ ช. พหลโยธิน, M.Sc.in Ag.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท ภักดีกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษา แนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์เลอศักดิ์ ริ้วตระกูลไพบูลย์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์พันธุ์ ช. พหลโยธิน กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และ รองศาสตราจารย์ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี อาจารย์ผู้แทนจากบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการแก้ไข เพื่อความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อแบบจำลองพันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (GAWA-2004) เพื่อนำมาใช้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณเอกจิต ไตรภาควาสิน ผู้อำนวยการโครงการฯ และเจ้าหน้าที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ รวมถึงคำแนะนำอันเป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วัชระ เสือดี อาจารย์ปกรณ์ สุตสุนทร และ คุณวงศ์วัฒนา สมบุญยิ่ง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแก้ไขปัญหาในทุกๆ ด้าน จวบจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเสร็จ

คุณงามความดีอันเป็นประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แด่ คุณพ่อสมบัติ และคุณแม่มณฑา สร้อยประเสริฐ ผู้ที่ให้กำเนิดและเลี้ยงดูจนเติบใหญ่ ให้สติปัญญา ความรู้และความสามารถ และ คุณสุเพ็ญ สร้อยประเสริฐ ที่ให้ความรักและความห่วงใย รวมถึงคอยให้กำลังใจในการศึกษา ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความเมตตา อบรมสั่งสอน และให้ความรู้จนถึงปัจจุบัน

ณัฐวุฒิ สร้อยประเสริฐ

ตุลาคม 2550

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
สภาพปัญหา	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	89
อุปกรณ์	89
วิธีการ	89
ผลการศึกษา	94
สรุปและข้อเสนอแนะ	122
สรุป	122
ข้อเสนอแนะ	123
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	125
ภาคผนวก	134
ภาคผนวก ก แสดงผลข้อมูลจากการรันแบบจำลอง WASAM Version 3.01	135
ภาคผนวก ข แสดงไฟล์ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง GAWA-2004	150
ภาคผนวก ค แสดงผลข้อมูลจากการรันแบบจำลอง GAWA-2004	165
ภาคผนวก ง แสดงไฟล์ข้อมูลของแบบจำลอง GAWA-2004	194
ภาคผนวก จ แสดงข้อมูลการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย	224
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	236

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการทดสอบโปรแกรม Crossover schemes	21
2	ปริมาณการใช้น้ำ เป็นมิลลิเมตร และระยะเวลาเป็นสัปดาห์ในการเตรียมแปลง	45
3	ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเตรียมแปลง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร	46
4	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชโดยวิธีของ Modified Penman (Kc) เป็นรายสัปดาห์	47
5	ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชโดยวิธีของ Modified Penman (Kc) เป็นรายเดือน	48
6	อัตราการซึมลงในดินของโครงการชลประทานต่างๆ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน	51
7	ค่าดรรชนีที่ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนใช้การ	55
8	ค่า R* , A และ B สำหรับสมการฝนใช้การเดือนต่างๆ ของข้าวและพืชไร่ ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน	57
9	แสดงผลการคำนวณความสัมพันธ์ของฝนประจำสัปดาห์ และฝนใช้การ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร	57
10	ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลองส่งน้ำโดยประมาณ	64
11	อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ ตามลักษณะคลองของโครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง	64
12	ค่า K , n , และ R^2 ของปตร.ต่างๆ ของโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง	68
13	ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Ec) ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ (Eb) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ (Ed) และประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea) ขนาดพื้นที่ ลักษณะของดิน และวิธีการให้น้ำแบบต่างๆ	72
14	ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการชลประทานในประเทศไทย มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	73
15	ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการชลประทานในประเทศไทย จำแนกตามพืชที่ปลูก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	74
16	ประสิทธิภาพการชลประทานที่เคยประเมินได้ สำหรับพืชชนิดต่างๆ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

17	แสดงปริมาณน้ำเก็บกักของเขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนศรีนครินทร์	88
18	รายละเอียดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2546 โครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง	92
19	ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ และแหล่งที่มาของข้อมูล สำหรับแบบจำลอง GAWA-2004	99
20	ผลการวิเคราะห์ค่า Pc	102
21	ผลการวิเคราะห์ค่า Pm	103
22	ผลการคัดเลือกค่า R1	105
23	ผลการคัดเลือกค่า Mu	106
24	จำนวนกรณีการจำลองสภาพการณ์การจัดสรรน้ำ ด้วยแบบจำลอง GAWA-2004	108
25	แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำต่อความต้องการน้ำ โดยใช้แบบจำลอง GAWA-2004	110

ตารางผนวกที่

ค1	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 60 %)	166
ค2	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 70 %)	167
ค3	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 80 %)	168
ค4	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 90 %)	169
ค5	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 100 %)	170
ค6	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 120 %)	171
ค7	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 150 %)	172
ค8	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 60 %)	173
ค9	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 70 %)	174
ค10	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 80 %)	175
ค11	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 90 %)	176
ค12	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 100 %)	177
ค13	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 120 %)	178
ค14	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 150 %)	179

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ค15	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 60 %)	180
ค16	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 70 %)	181
ค17	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 80 %)	182
ค18	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 90 %)	183
ค19	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 100 %)	184
ค20	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 120 %)	185
ค21	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 150 %)	186
ค22	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 60 %)	187
ค23	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 70 %)	188
ค24	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 80 %)	189
ค25	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 90 %)	190
ค26	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 100 %)	191
ค27	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 120 %)	192
ค28	ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 150 %)	193

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงโครโมโซมหนึ่งตัวประกอบด้วย 4 จีน จีนแต่ละตัวประกอบด้วยตัวเลขไบนารี่ 3 ตัว	10
2	รูปแบบการ Crossover แบบต่างๆ	13
3	แสดงจุดเชื่อมต่อของระบบชลประทาน Ayung	17
4	ระบบคลองแบบง่ายๆ ที่ใช้ทดสอบ	20
5	แสดงความสมดุลของแต่ละจุด	22
6	วงจรการจัดการน้ำของโครงการชลประทาน	27
7	ปริมาณน้ำ (Q) ที่วัดได้และปริมาณน้ำ (Q) ทางทฤษฎี	30
8	ปริมาณน้ำประสิทธิผล	36
9	ค่า DPR′(k) ในกรณีพื้นที่รับน้ำมีขนาดเท่าๆ กัน	37
10	ค่า DPR′(k) ในกรณีพื้นที่รับน้ำมีขนาดต่างกัน	37
11	ระดับน้ำในแปลงนาข้าวสำหรับคำนวณหาฝนใช้การ	54
12	แผนที่ประเทศไทย แสดงที่ตั้งโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	80
13	แสดงที่ตั้งและอาณาเขตของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	81
14	แสดงแผนผังระบบการรับน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจังหวัดสุพรรณบุรี	82
15	แสดงแนวคลองส่งน้ำและพื้นที่ความรับผิดชอบของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 ถึง 4 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	86
16	แผนภูมิแสดงคลองส่งน้ำในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	91
17	แสดงการป้อนข้อมูลระบบชลประทานของโครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง	94
18	กำหนดปฏิทินการเพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูกและสัปดาห์เริ่มปลูกในแต่ละช่วงคลอง	95
19	ตัวอย่างผลการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ในแต่ละ Canal section	96
20	ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม GAs	98
21	แผนผังระบบลุ่มน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องสำหรับแบบจำลอง GAWA-2004	100

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่า Pc	102
23	กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่า Pm	104
24	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 ตามความต้องการใช้น้ำในสัปดาห์ต่างๆ	112
25	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 6	114
26	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 16	115
27	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 22	116
28	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 23	117
29	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 6	118
30	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 16	119
31	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 22	120
32	กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 23	121

การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง : กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

Application of a Genetic Algorithm for Real Time Water Allocation : A Case Study of Song Phi Nong Irrigation Project

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในโลก มนุษย์นับเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการนำน้ำมาใช้ประโยชน์เพื่อตนเองในด้านต่างๆ มากที่สุด ได้แก่ การอุปโภค-บริโภค การเกษตรกรรม การอุตสาหกรรมและท่องเที่ยว การผลิตกระแสไฟฟ้า การรักษาสมดุล นิเวศวิทยา รวมทั้งการผลักดันน้ำเค็ม การชะล้างน้ำเสียในแหล่งน้ำ เป็นต้น

ในสภาวะการณ์ปัจจุบัน ปัญหาในด้านทรัพยากรน้ำ เป็นปัญหาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งของประเทศ ปัญหาการขาดแคลนน้ำนั้นนับวันจะทวีความรุนแรง และได้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นในหลายจังหวัด ก่อให้เกิดความเสียหาย และส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมซึ่งต้องอาศัยวัตถุดิบจากภาคเกษตรกรรมเป็นหลัก รวมทั้งการขาดแคลนน้ำอุปโภค-บริโภคในช่วงฤดูแล้งอย่างรุนแรงต่อเนื่องยาวนาน ซึ่งสภาพการขาดแคลนน้ำนี้มีผลมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชนเมือง ตามความเจริญเติบโตของประเทศ ตลอดจนการผันแปรของสภาพภูมิอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้การพัฒนาแหล่งน้ำเก็บกักเพื่อสำรองน้ำในฤดูฝนไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง ได้มีการเลือกสถานที่ก่อสร้างแหล่งเก็บน้ำที่มีลักษณะภูมิประเทศที่เหมาะสมไปเกือบหมดสิ้นแล้ว สถานที่ที่จะสามารถก่อสร้างแหล่งเก็บน้ำที่ยังคงเหลืออยู่ก็มักจะประสบปัญหาที่ไม่เหมาะสมทางด้านเทคนิค หรือไม่ก็อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติหรือป่าอนุรักษ์ หรือมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศน์ ซึ่งล้วนแต่เป็นเงื่อนไขที่ทำให้ไม่สามารถเปิดโครงการพัฒนาแหล่งน้ำใหม่ๆ ขึ้นมาได้ แต่ความต้องการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ ได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ทรัพยากรน้ำมีแนวโน้มที่จำกัดมากขึ้น จึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องความต้องการใช้น้ำ และความสามารถในการจัดสรรน้ำตามมาในภายหลัง และเนื่องจากน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการผลิตในทุกๆ ประเภท ปัญหาเรื่องน้ำจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้นเป็นทวีคูณ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างความสมดุลในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ทั้งด้านอุปสงค์และอุปทานสำหรับ

ประเทศไทยในอนาคต เพื่อให้ทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าและเกิดความเท่าเทียมต่อกลุ่มคนในสังคมมากที่สุด

วัตถุประสงค์

หนึ่งในวัตถุประสงค์หลักของการบริหารจัดการน้ำในระบบชลประทาน คือ เพื่อพัฒนาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดสรรน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำ ในการธำรงความเสมอภาคระหว่างแผนการจัดสรรน้ำ และผลที่ได้รับจากการส่งน้ำ การทำวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย โดยการประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้พัฒนาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดสรรน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำ สำหรับปัญหาการจัดสรรน้ำในระบบชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์ เพื่อการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง ในระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

2. เปรียบเทียบผลของการจัดสรรน้ำโดยพันธุกรรมคอมพิวเตอร์กับการจัดสรรน้ำโดยใช้แบบจำลอง WASAM

ขอบเขตการศึกษา

1. รวบรวมและศึกษาข้อมูลด้านการจัดสรรน้ำ ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

2. รวบรวมและศึกษาข้อมูลด้านความต้องการน้ำชลประทาน รวมถึงพื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

3. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบการส่งน้ำ ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

4. เสนอแนวทางในการจัดสรรน้ำในระบบส่งน้ำ ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

สภาพปัญหา

ในช่วงฤดูแล้ง ปริมาณน้ำต้นทุนของเขื่อนแม่กลองจะลดลงมาก ทำให้เขื่อนต้องระบายน้ำให้กับพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำเพื่อการชลประทานเป็นรายสัปดาห์ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจึงประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงปลายของแต่ละสัปดาห์ เนื่องจากโครงการฯจะได้รับการจัดสรรน้ำในปริมาณที่ค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นปัญหาในการควบคุมการจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานของโครงการฯ เพราะสภาพพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ของโครงการฯมีความลาดชันค่อนข้างสูง ทำให้ไม่เอื้ออำนวยต่อการกักเก็บน้ำไว้ใช้ได้ในเวลานานๆ

ปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จะเพิ่มมากขึ้นในช่วงปลายปีถึงต้นปีถัดไป หรือประมาณเดือนธันวาคม ถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเพาะปลูกครั้งที่ 2 ของเกษตรกร และเป็นช่วงเวลาที่เข้าสู่ฤดูหนาวและฤดูแล้งตามลำดับ ซึ่งไม่ค่อยจะมีฝนตก จึงมีความจำเป็นต้องอาศัยการใช้น้ำจากแหล่งกักเก็บน้ำต่างๆ ที่สร้างขึ้น ปัญหาการขาดแคลนน้ำของโครงการฯ มีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากความต้องการการใช้น้ำที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่มีจำนวนค่อนข้างจำกัด

เมื่อสภาพการณ์ด้านทรัพยากรน้ำเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่น้ำมีปริมาณที่มีจำนวนจำกัดมากขึ้น แนวคิดและวิธีการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำก็ต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้น้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด การใช้น้ำต้นทุนให้น้อยที่สุดให้เพียงพอกับความต้องการ และให้ผลผลิตเท่าเดิมหรือมากกว่า โดยมีดุลยภาพระหว่างการบริหารจัดการอุปสงค์และอุปทานด้านน้ำอย่างจริงจัง และในส่วนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา จะต้องคำนึงถึงระบบบริหารจัดการทรัพยากรน้ำที่มีประสิทธิภาพในการจัดสรร โดยสามารถแบ่งปันทรัพยากรน้ำเพื่อให้เกิดความเสมอภาคอย่างเท่าเทียมกัน และในช่วงวิกฤตขาดแคลนน้ำจะต้องดำเนินการเพื่อการจัดสรรน้ำให้พื้นที่ต่างๆ ในระบบชลประทานของโครงการในวิธีที่เป็นธรรม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเสนอแนวทางในการจัดสรรน้ำสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุด โครงการฯสามารถนำพันธุกรรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการตัดสินใจเพื่อให้เกิดความถูกต้องและความเหมาะสม ในการพิจารณาวางแผนการจัดสรรน้ำในระบบชลประทาน ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องต่อไป

การตรวจเอกสาร

โปรแกรม WASAM

โปรแกรม WASAM ถูกเขียนขึ้นโดยบริษัทที่ปรึกษา ILACO ด้วยภาษา BASIC ไม่มีเมนู และทำงานแบบไม่ Interactive การแก้ไขข้อมูลต้องเข้าไปแก้ไขใน Data line ของโปรแกรม การรันโปรแกรมค่อนข้างมีความยุ่งยาก

วราวุธ และ วัชระ (2538) ได้พัฒนา WASAM Version 2 โดยใช้ Quick Basic จุดเด่นของ WASAM Version 2 คือ ทำงานแบบ Interative มีเมนูควบคุมการทำงานและเพิ่มขีดความสามารถในการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำของงานส่งน้ำต่างๆ เป็นรายสัปดาห์ และสามารถรายงานค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำของสัปดาห์ที่ผ่านมาในรายงานการจัดสรรน้ำเพื่อส่งให้หัวหน้าโครงการและหัวหน้างานส่งน้ำฯได้อีกด้วย นอกจากนี้กรมชลประทานโดยโครงการพัฒนาชลประทาน NEWMASIP ได้พัฒนา WASAM (Windows Version) ขึ้นมาเพื่อให้สามารถรันได้ใน Windows (วิทยาลัยการชลประทาน และ NEWMASIP, 2537)

วิธีการคำนวณจัดสรรน้ำในโปรแกรม WASAM

คำนวณโดยการแบ่งพื้นที่โครงการออกเป็นพื้นที่แต่ละช่วงคลอง การคำนวณการจัดสรรน้ำแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ (วราวุธ และ วัชระ, 2538)

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณความต้องการชลประทานของช่วงคลองต่างๆ รายสัปดาห์จากรูปแบบการปลูกพืช สภาพภูมิอากาศ ที่มีผลต่อการใช้น้ำชลประทานและประสิทธิภาพในการใช้น้ำชลประทาน ดังสมการ

$$R(N) = \sum_{i=1}^{NC} \frac{\left[EV(ES) * CF(w_1, I) + LP(w_1, I) + COR - RE(RS)\right] * A(I, N)\right]}{378{,}000 * SUE(w_1, I)} \qquad (1)$$

เมื่อ $R(N)$ = ความต้องการน้ำของช่วงคลองที่ N ในสัปดาห์ที่ w ใด ๆ (ม.^{3}/วินาที)

$EV(ES)$ = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงรายสัปดาห์ (ม.^{3}/สัปดาห์)

$CF\ (w_1, I)$ = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop factor) ของพืช I ซึ่งมีอายุ w_1 สัปดาห์

NC = จำนวนของชนิดพืชต่างๆ

$LP(w_1, I)$ = ปริมาณน้ำเตรียมแปลงและรั่วซึมในแปลงนารายสัปดาห์ของพืช I ซึ่งมีอายุ w_1 สัปดาห์ (มม. / สัปดาห์)

COR = ค่าปรับแก้จากฝนหรือสภาพน้ำในแปลงนา

$RE(RS)$ = ฝนคาดการณ์ของสถานี RS (มม. / สัปดาห์)

$A(I, N)$ = พื้นที่เพาะปลูกพืช I ในช่วงคลองที่ N (ไร่)

$SUE(w_1, I)$ = ประสิทธิภาพการใช้น้ำในระดับแปลงของพืช I ซึ่งมีอายุ w_1 สัปดาห์

ขั้นตอนที่ 2 คือ การคำนวณหาปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้ ปตร.ต่างๆ โดยพิจารณาถึงสภาพทางชลศาสตร์ของระบบคลองส่งน้ำ และการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ โดยมีรายละเอียดการคำนวณการจัดสรรน้ำ ดังนี้

$$Q(N) = S(N) + \sum_{I=1}^{M} Q(I) + LOSS\ (N) \qquad (2)$$

เมื่อ $Q(N)$ = ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้อาคารชลประทานของช่วงคลองที่ N (ม.^{3}/ วินาที)

$S(N)$ = ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้พื้นที่รับน้ำของช่วงคลองที่ N (ม.^{3}/ วินาที)

$Q(I)$ = ปริมาณน้ำที่ต้องส่งจากช่วงคลองที่ N ให้ช่วงคลองที่ I ถึง M ที่รับน้ำจากช่วงคลอง N (ม.^{3}/ วินาที)

$LOSS(N)$ = การสูญเสียน้ำขณะน้ำจากแหล่งน้ำถึงช่วงคลองที่ N (ม.^{3})

ความสามารถของโปรแกรม WASAM

1. คำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้อาคารชลประทานต่างๆ ของโครงการฯประจำสัปดาห์

2. จัดทำรายงานการจัดสรรน้ำสำหรับโครงการฯ

3. ประเมินผลการส่งน้ำในรูปแบบของประสิทธิภาพการใช้น้ำและความสม่ำเสมอของโครงการฯ ประจำสัปดาห์

4. ติดตามผลจากสภาพน้ำในแปลงนาและปริมาณฝนจากการส่งน้ำจริง ว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่ โดยมีการปรับแก้และการตรวจสอบ

ประพันธ์ (2539) ได้ใช้โปรแกรม WASAM 2 สำหรับวางแผนการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง โดยจากผลการศึกษาพบว่า โครงการฯไม่สามารถควบคุมการส่งน้ำจริงตามปริมาณน้ำที่แนะนำได้ ทำให้เกิดปัญหาการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้แล้วยังเป็นโครงการฯท้ายน้ำ โดยรับน้ำที่เหลือจากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวนซึ่งไม่มีอ่างพักน้ำ (Intermediate reservoir) เพื่อเก็บกักน้ำส่วนเกิน หรือช่วยจ่ายน้ำ (Redistribute) ส่วนที่ขาดทำให้ผลการควบคุมน้ำไม่เป็นไปตามที่แนะนำได้

การหาค่าที่ดีที่สุด

การหาค่าที่ดีที่สุด เป็นกระบวนการที่ทำให้ไม่ต้องใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) ในการหาแนวทางในการวางแผนและการดำเนินงานดังที่ใช้ในการจำลองระบบ (Simulation) แต่จะมีกลไกอัตโนมัติเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหานั้นๆ โดยวิธีหาค่าที่ดีที่สุดจะใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายลักษณะของระบบในรูปแบบของตัวแปรของระบบ ข้อแม้ของระบบและวัตถุประสงค์ หรือประสิทธิผลที่จะทำการหาค่าที่ดีที่สุด นั่นคือ Optimization เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดอย่างมีระบบ (บัญชา, 2541)

เทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดนั้น มีการใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในด้านการวิจัย การช่วยในการตัดสินใจ การจัดการ และยังใช้ได้ดีกับการตัดสินใจกับงานทางด้านวิศวกรรม ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาวิธีการที่จะหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดขึ้นมาอย่างมากมาย โดยในปัจจุบันมีวิธีที่นำมาใช้สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับการจัดการทรัพยากรน้ำและการชลประทานซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน (Bhaktikul, 2001) เช่น

1. Linear Programming (LP)
2. Non-Linear Programming (NLP)
3. Quadratic Programming (QP)

4. Dynamic Programming (DP)
5. Genetic Algorithms (GAs)
6. Simulated Annealing (SA)
7. Artificial Neural Networks (ANNs)

โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP)

โปรแกรมเชิงเส้น คือปัญหาที่วัตถุประสงค์ และข้อแม้ของปัญหา ซึ่งมีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงทั้งหมด ทั้งนี้สมมติฐานสำคัญในการ Optimization โดย LP คือ (บัญชา, 2541)

1. การเป็นสัดส่วน หรือการแยกส่วนได้ คือ สามารถนำค่าคงที่มาคูณได้
2. การบวกและการลบ คือ การสามารถย้ายข้างสมการได้
3. การหาร จะกระทำได้ต่อเมื่อตัวแปรมีค่าแบบต่อเนื่อง
4. ความแน่นอน หรือการแก้ปัญหาโดยวิธีการแบบ Deterministic
5. การใช้ค่าบวกสำหรับตัวแปรทุกตัว

โดยมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้น สำหรับการจัดการทรัพยากรน้ำและการชลประทาน ไว้ดังนี้

Hannan and Coals (1995) ได้ประยุกต์ใช้ LP กับปัญหาด้านการส่งน้ำเช่นเดียวกับ Wardlaw and Barnes (1998) แต่ LP นั้น ไม่สามารถที่จะทำให้เกิดความเท่าเทียมกัน (Equity) ในการส่งน้ำได้

Anwar and Clarke (2001) ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการส่งน้ำแบบรอบเวร โดยใช้ระบบส่งน้ำในการศึกษาที่เดียวกับ Suryavanshi and Reddy (1986); Wardlaw and Barnes (1998); Reddy *et al.* (1999) ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับปัญหานี้โดยระบุปัญหาเป็น 0 และ 1 และทำการเปรียบเทียบผลกับ LINDO (Bhaktikul, 2001)

โปรแกรมไม่เชิงเส้น (Non-Linear Programming, NLP)

คือ ปัญหาที่มีวัตถุประสงค์ หรือข้อแม้ที่ไม่อยู่ในรูปสมการเส้นตรง หรือทั้ง 2 อย่าง ซึ่งปัญหาลักษณะแบบนี้จะต้องแก้โดยวิธีการที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น (บัญชา, 2541) และวิธีการของ NLP นี้อาจจะไม่สามารถหาค่าที่ดีที่สุดจริง (Global optimum) สำหรับฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ได้ โดยจะขึ้นอยู่กับวิธีที่เลือกใช้ ซึ่งทำให้ NLP ไม่มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาที่มีข้อแม้มาก (Hales, 1994) โดยการปรับปรุงวิธีการสำหรับ NLP เป็นโปรแกรมเชิงกำลัง (Quadratic Programming, QP) โดย Winston (1994) ซึ่งมีการนำมาใช้ในการส่งน้ำชลประทาน (Bhaktikul, 2001)

โปรแกรมเชิงกำลัง (Quadratic Programming, QP)

QP เป็น NLP ชนิดหนึ่ง โดยที่ฟังก์วัตถุประสงค์ หรือข้อแม้ หรือทั้ง 2 อย่างอยู่ในรูปสมการยกกำลัง และมีการประยุกต์ QP สำหรับปัญหาการส่งน้ำ ณ เวลาจริงที่มีการขาดน้ำ โดย Wardlaw and Barnes (1996-1998) ซึ่งสามารถที่จะส่งน้ำได้อย่างเท่าเทียมกัน และทำให้เกิดผลผลิตสูงขึ้น (Bhaktikul, 2001)

โปรแกรมพลวัตร (Dynamic Programming, DP)

คือ ปัญหาในการหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งมีลักษณะพิเศษของปัญหาเป็นแบบขั้นตอนต่างๆ หรือช่วงเวลาต่างๆ (บัญชา, 2541) โดยประยุกต์ DP เพื่อการจัดการน้ำ ดังนี้ การจัดการระบบชลประทาน ณ เวลาจริง (Coals and Wardlaw,1994) ประยุกต์ DP กับการส่งน้ำในระบบชลประทาน South Lombok ในประเทศอินโดนีเซีย โดยเมื่อเปรียบเทียบกับ QP แล้วได้ผลไม่แตกต่างกัน (Bhaktikul, 2001)

Genetic Algorithms (GAs)

เป็นเทคนิคการค้นหาโดยการเลียนแบบทฤษฎีการคัดเลือกทางธรรมชาติ คิดค้นโดย Professor John Holland ในปี 1971 และมีการนำ GA มาประยุกต์ใช้กับการส่งน้ำในระบบชลประทาน Shijing ประเทศจีน เพื่อให้เกิดผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจสูงสุด (Chen, 1997)

Wardlaw and Sharif (1999) ทำการประยุกต์ GA กับการจัดการระบบอ่างเก็บน้ำเพื่อให้เกิดประโยชน์มากที่สุด สำหรับอ่างเก็บน้ำที่ใช้งานหลายวัตถุประสงค์

Bhaktikul (2001) ประยุกต์ GA กับการส่งน้ำ ณ เวลาจริงในระบบชลประทาน Tukad Ayung เกาะบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย และการจัดตารางส่งน้ำในระบบชลประทาน Hetao ประเทศจีน

Simulated Annealing (SA)

เป็นวิธีการเลียนแบบการตกผลึกของสาร ซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ โดยมีการนำมาประยุกต์ใช้กับการจัดการน้ำใต้ดิน โดย Wang and Zheng (1998) โดยมีการใช้ทั้ง SA และ GA ควบคู่กับแบบจำลอง MODFLOW (Bhaktikul, 2001)

Artificial Neural Networks (ANNs)

ANNs เป็นเทคนิคใหม่ที่น่าสนใจ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่า หรือพยากรณ์ทางวิศวกรรมชลประทาน โดยมีความคลาดเคลื่อนต่ำ (วราวุธ, 2544)

ANNs เป็นกระบวนการประมวลผลทางคณิตศาสตร์และกระจายผลแบบขนาน ซึ่งมีความสามารถในการรวบรวมความรู้ที่ได้จากกระบวนการเรียนรู้และทำให้มันสามารถใช้งานได้ กระบวนการเรียนรู้คือ การนำเอาคู่ของข้อมูล Input-Output มาทำการคำนวณตามกระบวนการเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ค่า Output ที่ได้จาก ANNs ใกล้เคียง หรือตรงกับค่าของ Output ที่ได้เก็บรวบรวมไว้จากปรากฏการณ์จริงในสนาม

ANNs มีการประยุกต์ใช้กับการพยากรณ์ระดับน้ำในแม่น้ำลุ่มน้ำไนล์ โดย Atiya *et al.* (1999) ได้พัฒนา ANNs กับการพยากรณ์ระดับความลึกของน้ำใต้ดิน ไม่มีการประยุกต์ ANNs กับการหาค่าที่ดีที่สุดในการจัดการทรัพยากรน้ำในทางน้ำเปิด (Bhaktikul, 2001)

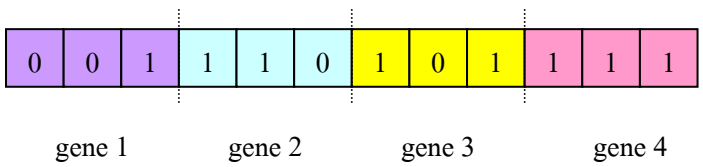
พันธุกรรมคอมพิวเตอร์

พันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (GAs หรือ Genetic Algorithms) คือปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ค้นหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization problem) ของฟังก์ชั่นใดๆ ที่ต้องการ ไม่ว่าฟังก์ชั่นดังกล่าวจะเป็นแบบเส้นตรง (Linear) หรือไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear) ก็ตาม Professor Jonh Holland เป็นผู้ที่คิดค้น GAs ขึ้นเป็นคนแรกในโลกเมื่อปี ค.ศ. 1971 หนังสือเล่มแรกที่ Holland เขียนและตีพิมพ์ไว้ชื่อ “Adaptation in Natural and Artificial System” (กัมปนาท, 2546)

หลักการทำงาน

ในปัญหาการหาค่าสูงสุด - ต่ำสุดของฟังก์ชั่นนั้น ขอบเขตของการค้นหา (Search space) อาจจะมีค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuities) และอาจจะมีค่าสูงสุด - ต่ำสุดหลายๆ ค่า (Sub-optimum peaks) ซึ่งมีความยุ่งยากมากหากใช้วิธีแคลคูลัส (Calculus base) หรือใช้การแทนค่า (Enumerative scheme) แต่ GAs เป็นเทคนิคการสุ่ม (Random search algorithm) ที่ง่ายและรวดเร็วกว่าสำหรับปัญหาที่สลับซับซ้อน โดย GAs จะสุ่มค่าเริ่มต้นมากลุ่มหนึ่ง (A Rich database of Points) และเข้าหาค่าที่ดีที่สุดในขอบเขตของการค้นหาไปพร้อมกันทั้งกลุ่ม (Michalewicz, 1992)

GAs เป็นวิธีการเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ กล่าวคือ ปัญหาที่สนใจจะถูกแทนค่าโดยแถวของตัวเลข (String) หรือโครโมโซมในทางชีววิทยา โครโมโซมแต่ละตัวจะประกอบไปด้วยบล็อก หรือหน่วยถ่ายพันธ์ หรือจีน (gene) ดังภาพที่ 1 ซึ่งจีนแต่ละจีนนี้จะเป็นค่าตัวแปรในฟังก์ชั่น (Decision variables) ที่จะทำให้ฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective function) มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด โดยจีนนี้สามารถแทนค่าได้ด้วยค่าไบนารี่ (0 หรือ 1) จำนวนเต็ม จำนวนจริง หรือเซทก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้เขียนโปรแกรมจะกำหนดตามความเหมาะสมของแต่ละปัญหา เมื่อแทนค่าจีนไปในสมการเป้าหมาย (Objective function) โครโมโซมแต่ละตัวจะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้ (Fitness) ทั้งนี้ทั้งนั้นอาจเป็นเพียงค่าที่เป็นไปได้ (Possible solution) แต่อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดก็ได้ จากนั้นขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนตามกระบวนของ GAs ซึ่งเลียนแบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) ของ Charles Darwin เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optiomum solution) โดยกลุ่มของโครโมโซมดังกล่าว (Population of Chromsome) จะถูกสุ่ม (Random) จับคู่แต่งงานกัน ผ่านกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ 3 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ 1) ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Operation) 2) ขั้นตอนการแลกเปลี่ยนจีนบนโครโมโซมที่จับคู่มา (Crossover Operation) และ 3) ขั้นการที่ทำให้จีนมีลักษณะใหม่เกิดขึ้นแตกต่างอย่างเด่นชัดจากโครโมโซมของพ่อแม่ (Mutation Operation) (กัมปนาท, 2546)



ภาพที่ 1 แสดงโครโมโซมหนึ่งตัวประกอบด้วย 4 จีน จีนแต่ละตัวประกอบด้วยตัวเลขไบนารี่ 3 ตัว
ที่มา: กัมปนาท (2546)

ความแตกต่างของ GAs กับการหาค่าที่ดีที่สุดวิธีอื่นๆ คือ

1. GAs ทำงานด้วยรหัสของชุดตัวแปร แทนที่จะทำงานโดยตัวแปรโดยตรง
2. GAs ทำงานโดยการสุ่มจากหลายๆ ค่า แทนที่จะทำงานทีละค่า
3. GAs ทำงานโดยสนใจเฉพาะฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่านั้น
4. GAs ใช้กฎของความน่าจะเป็น แทนที่จะใช้กฎในการตัดสินใจ

1. ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Operation)

ขั้นตอนการคัดเลือกโครโมโซม (Selection Operation) เปรียบเสมือนเครื่องมือในการคัดว่าโครโมโซมตัวใดจะถูกนำไปใช้ใน Generation ถัดไป โดยมีวิธีการคัดเลือก 3 วิธี (Bhaktikul, 2001) คือ

1.1 Proportional Selection เป็นวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วๆ ไป โดยจะทำการคัดเลือกจากค่า Probability of Selection (P_i) และคัดเลือกโครโมโซมไว้ตามจำนวนที่ต้องการ โดย Probability of Selection หาค่าได้ดังสมการ (Goldberg, 1989)

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{n} f_i} \tag{3}$$

โดยกำหนดให้

f_I = ค่า Fitness ของโครโมโซม i ใน Generation นั้นๆ

n = จำนวนประชากรโครโมโซมทั้งหมด (Population Size)

1.2 Rank Selection ทำโดยการนำค่า Fitness มาจัดเรียงกัน โดยการเรียงจากค่า Fitness น้อยไปหาค่า Fitness มาก และคัดเลือกไว้ตามจำนวนที่ต้องการ (Michalewicz, 1992)

1.3 Tournament Selection ทำโดยการนำโครโมโซมมาจับคู่กัน และมีการนำค่า Fitness ของแต่ละโครโมโซมมาแข่งขันกัน และทำการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่า Fitness ที่ดีกว่าเพื่อเก็บไว้ใช้ใน Generation ถัดไป

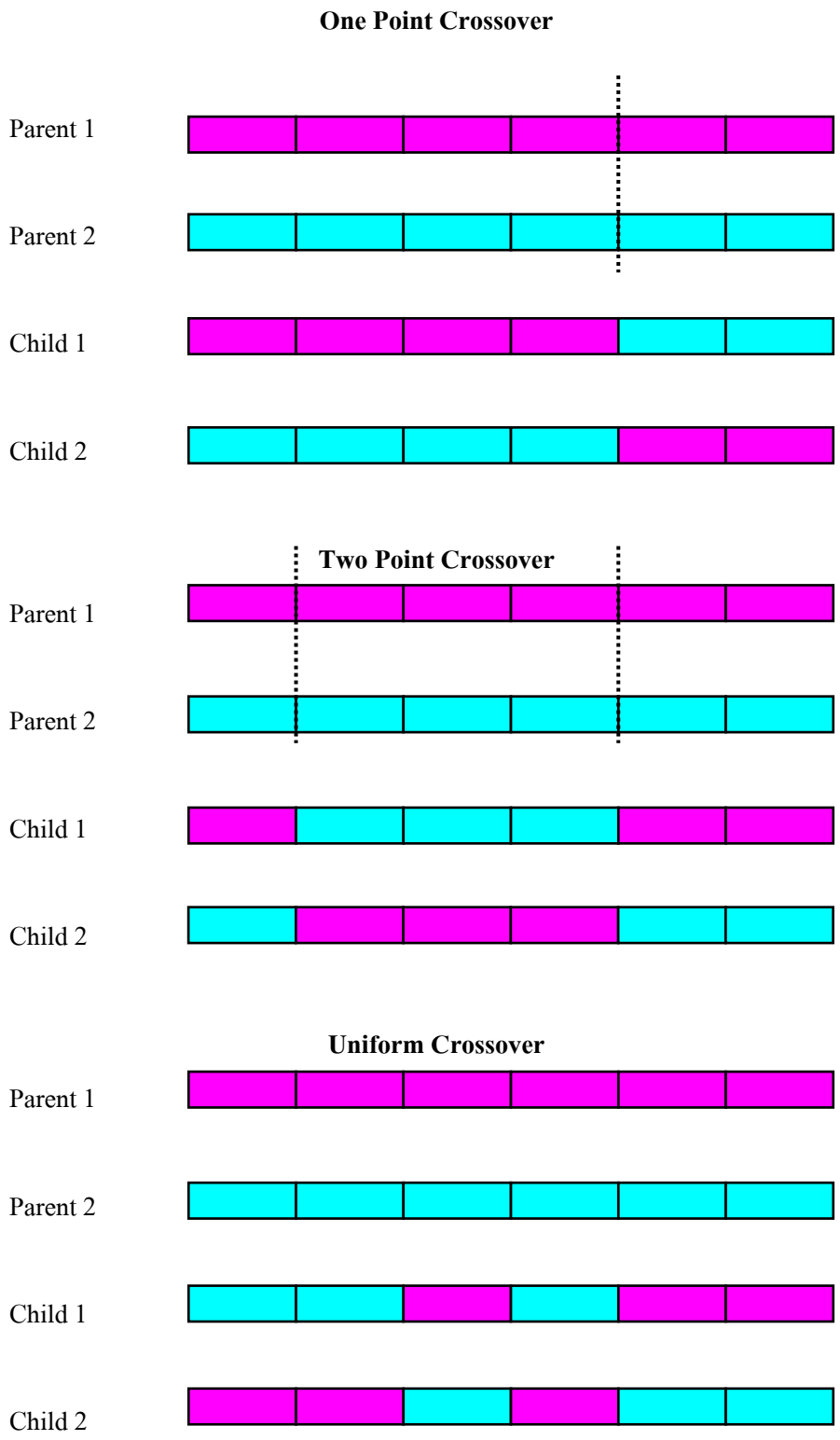
2. ขั้นตอนการสลับตำแหน่งของจีน (Crossover Operation)

ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากอีกขั้นตอนหนึ่งของ GAs หากไม่ทำการ Crossover จะทำให้การปฏิบัติการของ GAs ไม่ได้ผล โดยมีตัวควบคุม คือ Probability of crossover โดยทั่วๆ ไปมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 โดยมีการ Crossover 3 แบบ คือ (Goldberg, 1989; Michalewicz, 1992)

2.1 One - Point Crossover มีการแลกเปลี่ยนแถวของจีน 1 ตำแหน่ง ซึ่งเกิดจากการสุ่ม

2.2 Two - Point Crossover มีการแลกเปลี่ยนแถวของจีน 2 ตำแหน่ง ซึ่งเกิดจากการสุ่ม

2.3 Uniform - Crossover มีการแลกเปลี่ยนแถวของจีนหลายตำแหน่ง ซึ่งเกิดจากการสุ่ม



ภาพที่ 2 รูปแบบการ Crossover แบบต่างๆ

ที่มา: Wardlaw and Sharif (1999)

3. ขั้นตอนการดัดแปลงจีน (Mutation Operation)

เป็นขั้นตอนที่จีนถูกปรับเปลี่ยน ดัดแปลงให้ผิดแผกไปจากโครโมโซมพ่อและแม่โดยสิ้นเชิง ภายใต้การควบคุมของ Probability of mutation โดยมีวิธีการดัดแปลง 3 แบบ คือ (Michalewicz, 1992)

3.1 Uniform mutation ค่าของจีนถูกดัดแปลงภายในค่าพิสัย (Range) ที่กำหนด

3.2 Modified Uniform mutation จีนถูกดัดแปลงโดยค่าคงที่เพียงค่าเดียว

3.3 Non - Uniform mutation การดัดแปลงจีน โดยค่าที่ค่อยๆ ลดลงเมื่อ Generation เพิ่มขึ้น

โดยทั่วไปแล้วในการหาค่าที่ดีที่สุด จำเป็นต้องมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) ที่จะทำการหาค่าสูงสุด หรือต่ำสุด โดยมีข้อจำกัดของระบบ (Constrains) ในการทำงานของ GAs ข้อจำกัดของระบบถูกเขียนออกมาในรูปฟังก์ชั่นข้อจำกัด (Penalty function) ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นเงื่อนไข (To satisfied constrains)

การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์ในการจัดการทรัพยากรน้ำ

Wardlaw and Sharif (1999) ได้รวบรวมการประยุกต์ใช้ GAs ในด้านแหล่งน้ำ ได้แก่ การประยุกต์ GAs สร้างแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า โดยแบบจำลองดังกล่าวมีตัวแปรชี้วัด 7 ตัว ใช้ค่า Sum of Squares of Differences ระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณและการสังเกตจริงเป็นตัวบ่งบอกถึงความถูกต้อง ซึ่งในการทดลอง 10 ครั้ง มี 8 ครั้งที่ได้ค่าตามที่ตั้งไว้ และมีเพียง 2 ครั้งที่ต่ำกว่าที่ตั้งไว้ (Wang, 1991) และยังมีรายงานที่คล้ายกันใช้ GAs ทำงานร่วมกับ Sequential quadratic programming เพื่อสร้างแบบจำลองน้ำฝน - น้ำท่า (Francini, 1996)

มีการประยุกต์ GAs เพื่อใช้ในงานระบบท่อ ได้แก่ การใช้ GAs เพื่อหาค่าอุตมภาพสำหรับระบบท่อ (Goldberg *et al.*, 1987) การพัฒนา GAs มาเป็นแบบแผนการพัฒนาหาค่าอุตมภาพของความต้องการน้ำในระบบท่อ และหาขนาดท่อที่เล็กที่สุดที่ใช้ในการส่งน้ำเพื่อให้ราคาถูก มีการ

เปรียบเทียบค่าระหว่าง NLP และ GAs เพื่อใช้ในงานระบบท่อซึ่ง GAs สามารถหาผลคำตอบได้เร็วกว่า NLP มีการใช้ GAs หาแนวการวางท่อที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขนส่งแก๊สและน้ำ (Davidson and Goulter, 1995) และมีการพัฒนา GAs สำหรับหาค่าการลงทุนที่ต่ำสุดสำหรับการออกแบบระบบท่อแบบใหม่ใน New York ต่อมามีการพัฒนาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ GA-NET สำหรับหาค่าต่ำสุดในการออกแบบ และค่าอุตมภาพด้านเทคนิคในระบบท่อ

ในการหาค่าอุตมภาพหลายวัตถุประสงค์สำหรับงานที่มีความสลับซับซ้อน เช่น หาค่าการลงทุน ผลกำไร ได้มีการพัฒนาแบบจำลอง Structured Messy Genetic Algorithm (SMGA) เพิ่มเข้ามา ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับ GAs แบบธรรมดาแล้วปรากฏว่า SMGA นั้นดีกว่าสำหรับงานในระบบใหญ่ๆ (Halhal *et al.*, 1997)

ในด้านปัญหามลพิษของน้ำผิวดินก็มีการนำ GAs เข้ามาใช้ (Ritzel *et al.*, 1994) มีการใช้ GAs ในการหาค่าอุตภาพของการจัดการน้ำผิวดินภายในสภาวะที่น้ำไม่แน่นอนได้ดี (Cieniawski *et al.*, 1995) และมีการสร้างแบบจำลองการจัดการน้ำผิวดินโดยใช้ GAs ด้วย (McKinney and Lin, 1994)

สำหรับด้านการจัดการระบบอ่างเก็บน้ำนั้นมีการใช้ GAs เข้ามาประยุกต์ใช้น้อยมาก ซึ่งได้แก่ การประยุกต์ GAs ใช้ในการจัดการระบบอ่างเก็บน้ำ 4 แห่ง เพื่อหาผลกำไรสูงสุดในการผลิตกระแสไฟฟ้าและด้านการชลประทาน โดยพิจารณาระดับกักเก็บและการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า GAs มีประสิทธิภาพดีกว่า DP (Esat and Hall, 1994) และได้เปรียบเทียบการจัดการน้ำในระบบลุ่มน้ำขนาดใหญ่ระหว่าง GAs กับ DP ซึ่ง GAs มีความสามารถดี (Fahmy *et al.*, 1994)

มีการใช้ GAs ในการหาค่าการจัดการน้ำ (Operation rules) สำหรับระบบอ่างเก็บน้ำหลายอ่าง ซึ่งสามารถที่จะทำได้อย่างดี อันแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของ GAs ในการจัดการน้ำ (Oliveira and Loucks, 1997)

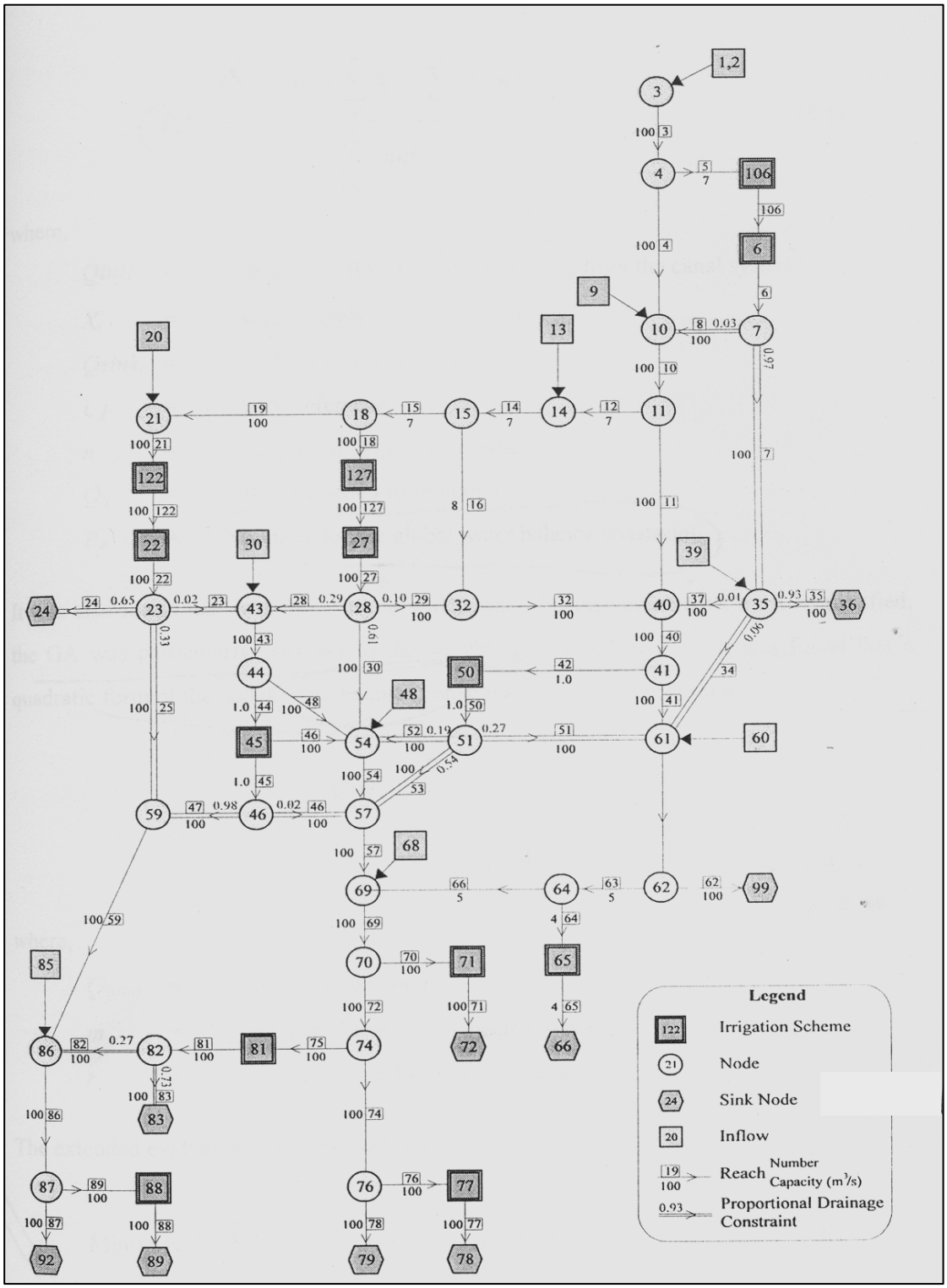
มีรายงานที่กล่าวถึงความสามารถในการใช้ GAs ในการจัดการปัญหาของระบบอ่างเก็บน้ำในแบบ Real time ด้วยการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ (Esat and Hall, 1994) และยังมีรายงานที่สนใจในด้านการหาค่าอุตมภาพของการจัดการน้ำด้วย (Oliveira and Loucks, 1997)

Wardlaw and Sharif (1999) ได้ทำการประยุกต์ GAs ในการหาค่าที่ดีที่สุดในการจัดการระบบอ่างเก็บน้ำแบบอเนกประสงค์ ซึ่งจากการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบค่า Rule curve กับ LP แล้ว พบว่า GAs สามารถหาค่าการจัดการน้ำได้ดีกว่า LP

สำหรับการประยุกต์ GAs กับการส่งน้ำชลประทานนั้น ได้มีการริเริ่มโดย Bhaktikul (2001) โดยมีการประยุกต์ในหลายรูปแบบ ได้แก่ การจัดการน้ำอย่างเท่าเทียมกัน (Water allocation problem with equitable manners) การจัดการน้ำแบบรอบเวร (Water scheduling problem) และการจัดการน้ำในระดับรากพืช (Simulated root zone soil moisture) ซึ่งทั้งหมดได้ทำการเปรียบเทียบ GAs กับการจัดการน้ำวิธีอื่นๆ พบว่า GAs ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดการน้ำในระบบคลอง

Bhaktikul (2001) ได้ประยุกต์ใช้ GAs กับการจัดการน้ำในระบบชลประทาน โดยใช้ภาษา C ในการโปรแกรมแบบจำลอง กับระบบชลประทานของ Tukad Ayung Irrigation System ที่เกาะบาหลี ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นระบบที่มีความซับซ้อนมาก ดังแสดงในภาพที่ 3 ประกอบด้วยคลองทั้งหมด 69 สาย จุดเชื่อมต่อ 56 จุด จุดรับน้ำเข้าระบบ 10 จุด จุดที่เป็นโครงการที่ต้องการน้ำ 13 จุด และจุดที่น้ำไหลออกจากระบบ 13 จุด มีการใช้น้ำในภาคต่างๆ เช่น ภาคอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว การเกษตรกรรม และการอุปโภคบริโภค ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ จึงจำเป็นต้องมีการหาแนวทางที่จะจัดการน้ำเพื่อให้มีการขาดแคลนน้ำอย่างเท่าเทียมกัน (Equitable manner) ใช้สมการวัตถุประสงค์ และข้อจำกัดตามสมการการส่งน้ำในเวลาจริงของ Wardlaw and Barnes (1996)



ภาพที่ 3 แสดงจุดเชื่อมต่อของระบบชลประทาน Ayung

ที่มา: Wardlaw and Barnes (1996)

ฟังก์ชั่นและตัวแปรปรับความคลาดเคลื่อน (Penalty Functions and Penalty Factor)

ใน GAs มีความจำเป็นต้องมีฟังก์ชั่น และตัวแปรปรับความคลาดเคลื่อนให้มีค่าลดลงจนสามารถกำจัดข้อจำกัดต่างๆ ได้เรียบร้อย โดยฟังก์ชั่นที่ต้องใช้ในการนำมาเพื่อการปรับแก้ แสดงได้ดังสมการที่ 4 - 6

1. ถ้าค่าสัมบูรณ์ของน้ำในแต่ละจุด > 0.001

$$P_1 = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left| Qinf_i + \sum_{j=1}^{n} Q_{ij} - x_i - Qsnk_i \right|}{Q\,inf_i + \sum_{j=1}^{r} Q_{ij(in)}} \tag{4}$$

เมื่อ $Q_{ij(in)}$ = น้ำไหลเข้าในจุด i (เฉพาะที่มีน้ำไหลเข้า)

r = จำนวนคลองที่เชื่อมต่อกับจุด i

n = จำนวนจุดเชื่อมต่อในระบบ

2. ถ้า $Q_{ij} > q\max_{ij}$

$$P_2 = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{(Q_{ij} - q\max_{ij})}{q\max_{ij}} \tag{5}$$

3. ถ้า $x_i > d_i$

$$P_3 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - d_i)}{d_i} \tag{6}$$

เมื่อ n = จำนวนจุดที่เป็นจุดรับน้ำ

จากสมการที่ 4 - 6 ข้างต้น ทำให้สามารถเขียนสมการของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ใหม่ คือ

$$Minimise\ Z = \sum_{i=1}^{n} \frac{(d_i - x_i)^2}{d_i} + R_1P_1 + R_2P_2 + R_3P_3 \quad (7)$$

เมื่อ n = จำนวนคลองส่งน้ำ

d_i = ความต้องการน้ำในคลองส่งน้ำที่ i

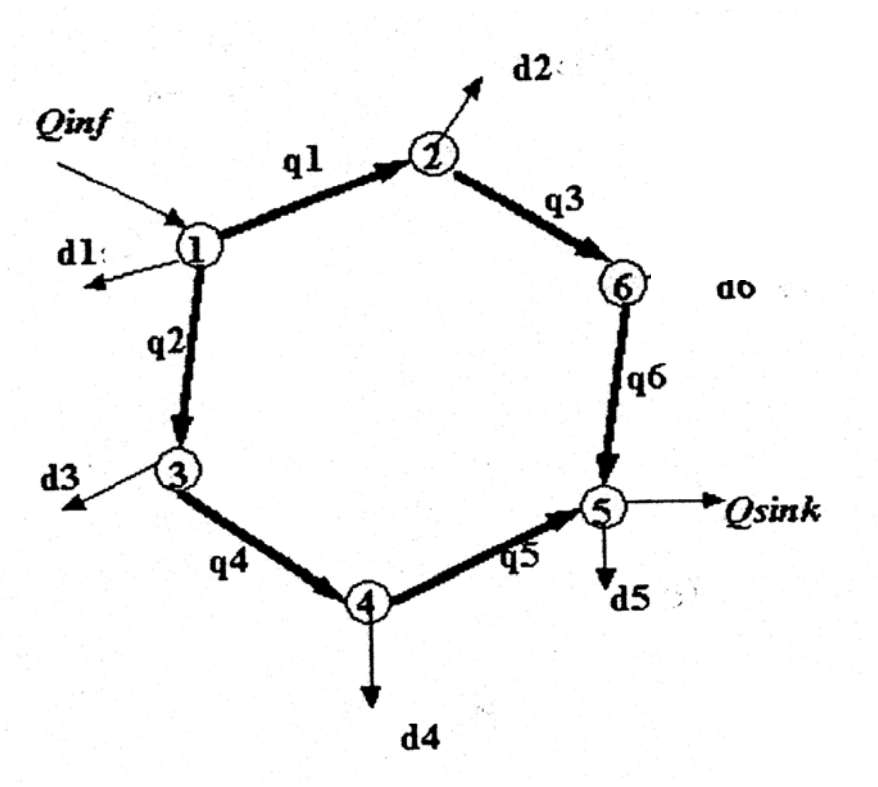
x_i = ปริมาณน้ำที่สามารถส่งน้ำได้ในคลองส่งน้ำที่ i

R_1 , R_2 และ R_3 = ตัวแปรปรับความคลาดเคลื่อน (Penalty factor)

การประยุกต์ใช้ GAs เพื่อการจัดการน้ำ จะเริ่มโดยการทำการทดสอบเพื่อหาค่าการใช้งานขั้นตอนการทำงานของ GAs โดยทำการทดสอบกับระบบคลองที่ไม่มีความซับซ้อนก่อน

การทดสอบกับระบบคลองแบบง่ายๆ

Bhaktikul (2001) ได้ทดสอบระบบคลองโดยสมมติให้มีการเชื่อมต่อของระบบดังภาพที่ 4 โดยคลองทุกสายมีความจุ 15 m^3/s โดยมีปริมาณน้ำที่ไหลเข้าระบบทั้งหมด 15 m^3/s และมีความต้องการดังนี้ d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 และ d_6 เท่ากับ 0, 2, 8, 7, 0 และ 6 m^3/s ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในระบบนี้มีการขาดแคลนน้ำ โดยมี Input file จำนวน 3 files ดังนี้



ภาพที่ 4 ระบบคลองแบบง่ายๆ ที่ใช้ทดสอบ
ที่มา: Bhaktikul (2001)

1. Network file คือ file ที่เก็บค่าของการเชื่อมต่อของระบบคลองส่งน้ำ จุดที่น้ำไหลเข้า จุดที่น้ำไหลออก และจุดที่มีความต้องการในการใช้น้ำ

2. Demand file คือ file ที่เก็บค่าปริมาณความต้องการในการใช้น้ำที่จุดต่างๆ ในระบบคลองส่งน้ำ

3. Inflow file คือ file ที่เก็บค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าในแต่ละจุดของระบบคลองส่งน้ำ

โดยจุดมุ่งหมายของการทดสอบเพื่อเลือกค่าใช้งานที่เหมาะสมในการทำงานของ GAs โดยใช้ตัวแปรทั้งหมดเป็นจำนวนจริง ได้ผลการทดสอบโปรแกรมตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบโปรแกรม Crossover schemes

Crossover operation	Mutation schemes	
	Modified Uniform	Non-Uniform
One-point	2.849	2.887
Two-point	2.849	2.778
Uniform	2.849	2.778

ที่มา: Bhaktikul (2001)

จากการทดสอบโปรแกรมดังกล่าวเห็นว่าวิธี Non - Uniform mutation ให้ค่า Fitness ที่ดีกว่าวิธี Modified Uniform mutation ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธี Non - Uniform mutation ในงานวิจัยนี้

การจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง

การระบุปัญหาของการหาค่าที่ดีที่สุด

Wardlaw and Barnes (1996) ได้ระบุวัตถุประสงค์ของการส่งน้ำเพื่อให้เกิดผลผลิตมากที่สุด โดยที่ต้องมีความเสมอภาคกันของกลุ่มผู้ใช้น้ำชลประทาน และคำนึงถึงความจุของคลองส่งน้ำรวมถึงระบบการเชื่อมต่อของคลองส่งน้ำ โดย Wardlaw and Barnes (1996) ได้พัฒนาสมการขึ้นดังนี้

$$Minimise \quad Z = \sum_{i=1}^{n} \frac{(d_i - x_i)^2}{d_i} \tag{8}$$

เมื่อ n = จำนวนคลองส่งน้ำ

d_i = ความต้องการน้ำในคลองส่งน้ำที่ i

x_i = ปริมาณน้ำที่สามารถส่งน้ำได้ในคลองส่งน้ำที่ i

โดยที่ต้องมีสมการสมดุลของน้ำในแต่ละจุด i (Nodal) ดังนี้ และได้แสดงไว้ดังภาพที่ 5

$$Q\,inf_i + \sum_{j=1}^{m} Q_{ij} - x_i - Qsnk_i = 0 \tag{9}$$

เมื่อ $Qinf_i$ = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าที่จุด *i* (Inflow to node *i*)

$\sum_{j=1}^{m} \boldsymbol{Q_{ij}}$ = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าโดยออกจากจุดที่ *j* ต่างๆ มายังจุดที่ *i*

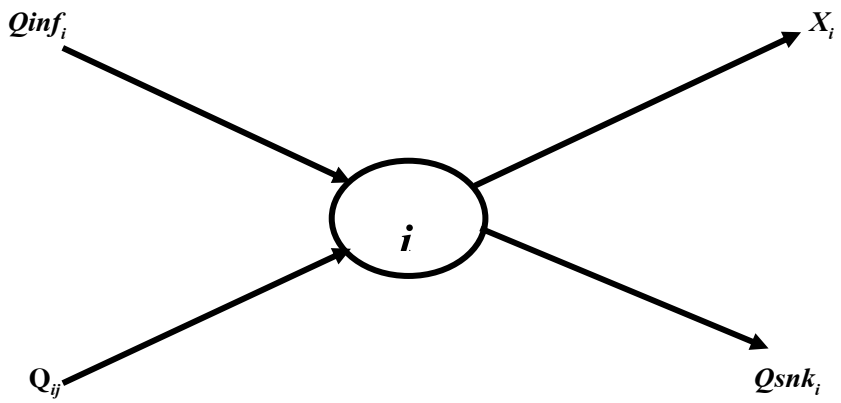
$Qsnk_i$ = ปริมาณน้ำที่เป็น Outflow ณ จุดที่ *i* (ถ้ามี)

โดยมีเงื่อนไขว่า

$$\boldsymbol{Q_{ij} \leq qcap_{ij}} \tag{10}$$

$$\boldsymbol{x_i \leq d_i} \tag{11}$$

เมื่อ $\boldsymbol{Qcap_{ij}}$ = ความจุของคลองระหว่างจุดที่ *i* และจุดที่ *j*



ภาพที่ 5 แสดงความสมดุลของแต่ละจุด

ที่มา: Bhaktikul (2001)

โครงการชลประทาน

โครงการชลประทาน หมายถึง หน่วยงาน และสิ่งก่อสร้างที่จัดทำขึ้นเพื่อส่งน้ำไปใช้ทำการเพาะปลูก และระบายน้ำที่เหลือใช้ หรือไม่ต้องการออกไปไม่ให้เป็นอันตรายแก่การเพาะปลูกนั้น (วิบูลย์, 2526)

องค์ประกอบที่สำคัญของโครงการชลประทาน

วิบูลย์ (2526) กล่าวว่า โครงการชลประทานทุกโครงการ จะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 5 อย่างด้วยกัน คือ

1. แหล่งน้ำ โครงการชลประทานทุกโครงการ จำเป็นต้องอาศัยน้ำจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งมาจัดส่งไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูก โดยน้ำจากแหล่งนั้นจะต้องมีปริมาณมากพอ และมีความแน่นอนในการพัฒนาเอามาใช้ได้ แหล่งน้ำที่นำมาใช้ในโครงการชลประทาน ส่วนใหญ่เป็นน้ำท่าจากแม่น้ำลำธารตามธรรมชาติ ในกรณีมีภูมิประเทศที่เหมาะสมก็อาจจะสร้างเขื่อนเก็บกักไว้ แล้วระบายออกมาให้พอเหมาะกับความต้องการในการใช้น้ำของพืชที่ระยะเวลาต่างๆ ก็จะเป็นแหล่งน้ำที่ดีเพราะมีปริมาณมาก และมีความแน่นอนในการนำเอาไปใช้ได้

2. พื้นที่ดินและพืช พื้นที่ดิน หมายถึง พื้นที่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ว่าจะได้รับประโยชน์จากโครงการชลประทานนั้น โดยการมีระบบส่งน้ำจากแหล่งน้ำแพร่กระจายครอบคลุมไปถึง เพื่อความสะดวก พื้นที่ดินในเขตโครงการชลประทานจึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พื้นที่โครงการ (Command area) หมายถึง พื้นที่ทั้งหมดที่อยู่ภายในเขตโครงการนั้น รวมถึงบริเวณที่ไม่สามารถส่งน้ำให้ได้เนื่องจากเป็นที่ดอน และพื้นที่ชลประทาน (Irrigable area) หมายถึง พื้นที่ที่สามารถรับน้ำจากระบบส่งน้ำของโครงการชลประทานไปใช้ได้

3. หัวงานโครงการ (Headwork) หมายถึง อาคารที่สร้างขึ้นในลำน้ำสำหรับทดน้ำให้มีระดับสูงขึ้นพอที่น้ำจะไหลเข้าไปในคลองส่งน้ำได้สะดวก รวมถึงอาคารประกอบอื่นๆ ในบริเวณเดียวกันที่ทำหน้าที่ควบคุมบังคับน้ำ

4. ระบบการส่งน้ำ (Conveyance and distribution system) หมายถึง ทางน้ำที่จัดสร้างขึ้นเพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำให้ไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูก รวมถึงอาคารบังคับน้ำต่างๆ ในระบบส่งน้ำ

5. ระบบการระบายน้ำ (Drainage system) หมายถึง ทางน้ำที่จัดสร้างขึ้นเพื่อกำจัดน้ำที่มากเกินความต้องการในเขตชลประทานออกไป เพื่อให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

ผลประโยชน์จากโครงการชลประทาน

วราวุธ (2532) ได้ให้ความหมายของผลประโยชน์จากโครงการชลประทานไว้ว่า คือ ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้ประโยชน์ของโครงการ ซึ่งก็คือผลผลิตส่วนต่างระหว่างการมีโครงการและไม่มีโครงการ

ดำรง (2525) กล่าวว่า ผลประโยชน์จากโครงการชลประทานมีทั้งผลประโยชน์โดยตรงและผลประโยชน์โดยอ้อม ผลประโยชน์โดยตรง หมายถึงรายได้เป็นจำนวนเงินที่เพิ่มขึ้นจากเดิมอันเนื่องมาจากการมีโครงการ ผลประโยชน์โดยอ้อม เป็นสิ่งที่แน่ใจว่าเกิดขึ้นจากการมีโครงการชลประทาน แต่ไม่สามารถประเมินออกมาเป็นตัวเงินได้

ผลกระทบจากโครงการชลประทาน

วราวุธ (2537) ได้กล่าวไว้ว่า การบริหารโครงการชลประทานอาจก่อให้เกิดผลกระทบระยะยาวต่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งได้แก่

1. ผลกระทบต่อความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

2. ผลกระทบต่อความยั่งยืนทางด้านสภาพแวดล้อมทางกายภาพ

   2.1 ระดับน้ำใต้ดิน
   2.2 คุณภาพน้ำชลประทาน
   2.3 ระดับเกลือในดิน
   2.4 ปริมาณโซเดียม
   2.5 ปริมาณสารพิษตกค้าง

3. ผลกระทบจากโครงการชลประทานต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ

3.1 การประมง (Fisheries)
3.2 ระบบนิเวศวิทยาทางน้ำ (Aquatic biology)
3.3 ป่าไม้ (Forest)
3.4 สัตว์ป่า (Terrestical wildlife)

การจัดการน้ำ

การจัดการน้ำ (วราวุธ, 2538) คือ ความพยายามที่จะนำน้ำจากแหล่งน้ำไปทำการเพาะปลูก โดยอาศัยหลักการจัดการ ซึ่งประกอบด้วย การวางแผน การปฏิบัติการ การติดตาม การประเมินผล และการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงแผนงาน เพื่อให้การใช้น้ำเกิดประโยชน์สูงสุดตามวัตถุประสงค์ของโครงการชลประทานที่วางไว้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เกิดความขัดแย้งระหว่างผู้ใช้น้ำน้อยที่สุด และเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในการจัดการน้ำประกอบไปด้วย

1. น้ำต้นทุน ปริมาณ และความเชื่อถือได้

2. ความต้องการน้ำ ปริมาณ และเวลาที่ต้องการ

3. ระบบส่งน้ำ ขีดความสามารถ และประสิทธิภาพในการส่งน้ำ

4. คน ได้แก่ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวางแผน ฝ่ายปฏิบัติการ ฝ่ายติดตามผล กลุ่มผู้ใช้น้ำ และเกษตรกร

การจัดการน้ำชลประทาน (วิบูลย์, 2535) หมายถึง การจัดการส่งน้ำให้ไปถึงพื้นที่เพาะปลูกในเวลาและปริมาณที่พืชต้องการ เพื่อให้การเพาะปลูกนั้นเกิดผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด และยังหมายรวมถึงการระบายน้ำที่มากเกินความต้องการออกจากพื้นที่ เพื่อสร้างบรรยากาศที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช และอำนวยความสะดวกต่อการเกษตรกรรมในพื้นที่ด้วย

การจัดการน้ำในโครงการสามารถแยกได้ตามลักษณะการจัดการได้ 3 ระดับ คือ

1. การจัดการแหล่งน้ำของโครงการ ได้แก่ การจัดการปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการที่มีอยู่ เช่น เขื่อนเก็บกักน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ หรือน้ำในดิน

2. การจัดการน้ำในระบบส่งน้ำของโครงการ ได้แก่ การส่งน้ำเข้าไปในระบบชลประทานตามจำนวน และเวลาที่ได้กำหนดไว้ในคลองสายใหญ่ คลองสายซอย เป็นต้น

3. การจัดการน้ำในระบบส่งน้ำในไร่นา ได้แก่ การส่งน้ำในคูส่งน้ำ หรือระบบการส่งน้ำในไร่นาให้มีปริมาณที่เพียงพอ และแพร่กระจายไปสู่แปลงเพาะปลูกอย่างทั่วถึง

การจัดการน้ำในโครงการทั้ง 3 ระดับ มีความสัมพันธ์กันอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นระบบที่ต่อเนื่องกัน และจะต้องดำเนินการให้สอดคล้องกันตลอดเวลา มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาในการบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษาโครงการนั้นได้

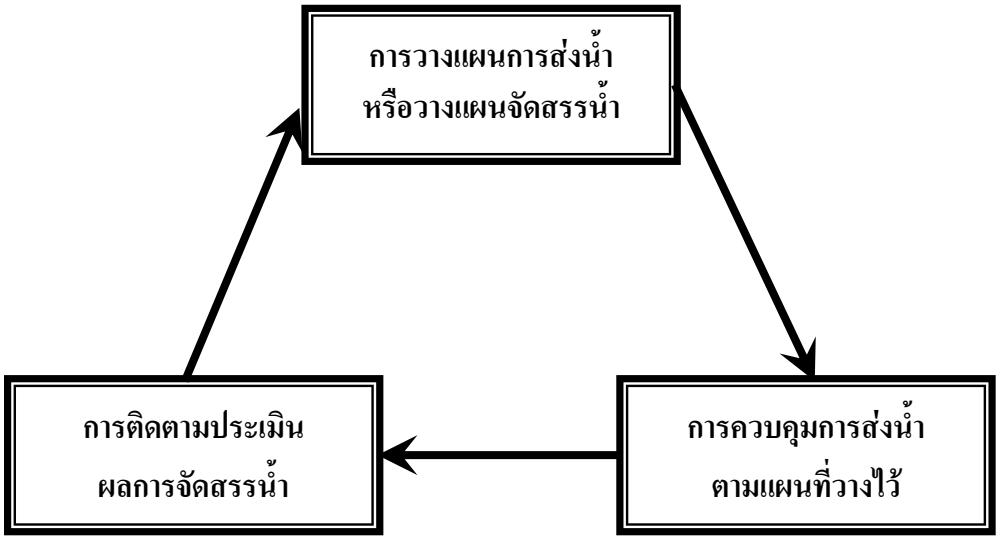
การจัดการงานส่งน้ำและบำรุงรักษาระดับแหล่งน้ำและระบบส่งน้ำของโครงการ เจ้าหน้าที่โครงการจะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบทั้งการบริหารงานและงบประมาณ ส่วนในระดับไร่นา เกษตรกรผู้ใช้น้ำจะเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบทั้งการส่งน้ำและบำรุงรักษา โดยมีเจ้าหน้าที่คอยให้คำแนะนำ

วัตถุประสงค์ของการจัดการน้ำ

วัตถุประสงค์หลักของการจัดการน้ำชลประทาน (วราวุธ, 2538 ก) คือ การส่งน้ำในปริมาณที่เหมาะสมให้กับพื้นที่หรือบุคคลที่เหมาะสม และส่งในช่วงเวลาที่เหมาะสม การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จะต้องมีการดำเนินงานตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. การวางแผนการส่งน้ำหรือวางแผนการจัดสรรน้ำ
2. การควบคุมการส่งน้ำ
3. การติดตามประเมินผลการส่งน้ำจริงในสนาม

ซึ่งกิจกรรมทั้ง 3 เป็นกิจกรรมที่ต่อเนื่องกัน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 วงจรการจัดการน้ำของโครงการชลประทาน
ที่มา: วราวุธ (2538 ก)

อภิชาติ และคณะ (2524) ได้กล่าวว่า ปัญหาการจัดส่งน้ำชลประทานในปัจจุบันมีข้อบกพร่องโดยทั่วไปอยู่ 4 ประการ คือ

1. ส่งน้ำไม่ทั่วถึง ต้นคลอง ต้นคู มีน้ำเหลือเฟือ ส่วนปลายคลอง ปลายคู มักจะขาดน้ำหรือได้รับน้ำล่าช้า

2. ขาดความร่วมมือจากเกษตรกร เป็นเหตุให้การจัดการส่งน้ำสับสน ขาดระเบียบ ไม่เป็นตามแผนการส่งน้ำ

3. ผลผลิตของพื้นที่การเกษตร ไม่สูงเท่าที่ควรจะเป็นและเท่าที่คาดหวังไว้

4. ประสิทธิภาพการชลประทานต่ำกว่าที่คาดหวัง

การจัดการน้ำมีจุดมุ่งหมาย คือ การส่งน้ำให้ทั่วถึงเท่าที่จำเป็นอย่างสม่ำเสมอ เป็นธรรม และให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยแบ่งตามลักษณะการทำงานที่ต้องเกี่ยวพันกัน คือ

1. ทางด้านวิศวกรรม จะต้องปรับปรุงระบบการส่งน้ำ และวิธีการส่งน้ำให้เหมาะสมกับความต้องการของพืชอย่างทั่วถึง ทันเวลา และลดการสูญเสียน้ำให้มากที่สุด

2. ทางด้านเศรษฐกิจและสังคม จะต้องให้เกษตรกรมีส่วนร่วมด้วยอย่างเต็มที่ในการส่งน้ำ และจะต้องเป็นไปอย่างทั่วถึงเพียงพอสำหรับพืชอย่างสม่ำเสมอ และไม่เหลื่อมล้ำกัน มีข้อขัดแย้งน้อยที่สุด เป็นที่พอใจ และมีความเท่าเทียมกัน เป็นหลักประกันที่เชื่อถือได้

3. ทางด้านเกษตรกรรม เกษตรกรจะต้องนำน้ำไปใช้ในการเพาะปลูกพืชชนิดที่เหมาะสมกับดิน และความต้องการของตลาด โดยใช้วิธีการเกษตรแผนใหม่ ปรับปรุงเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น และปลูกให้ได้เนื้อที่มากที่สุดเท่าที่ปริมาณน้ำต้นทุนจะอำนวยให้ อย่างไรก็ตาม ปัญหาของแต่ละท้องถิ่นมีความแตกต่างไม่เหมือนกัน ควรนำไปดัดแปลงให้เหมาะสม และเป็นที่ยอมรับทั้งเกษตรกรและผู้ที่เกี่ยวข้อง

บัญชา (2540) ได้กล่าวไว้ว่า การจัดสรรน้ำที่ดีจะต้องสามารถส่งน้ำได้ โดยต้องอาศัยปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ในช่วงเวลาที่เหมาะสม
2. มีปริมาณน้ำเพียงพอ (อัตราการไหลและช่วงเวลาในการให้น้ำ)
3. มีความเชื่อถือได้
4. มีการกระจายน้ำอย่างยุติธรรม
5. มีความปลอดภัยของน้ำต้นทุน (การดำรงอยู่ของระบบ)

ทั้งนี้วัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น เป็นการดำเนินงานทั้งด้านการวางแผนในการดำเนินงาน (การกระจายน้ำ) และการติดตามผล

ดรรชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน

การประเมินประสิทธิผลนั้นเกี่ยวข้องกับจุดมุ่งหมาย (Goal) และเป้าหมาย (Target) ในการดำเนินงานทั้งจุดมุ่งหมายโดยตรง และจุดมุ่งหมายซ่อนเร้น ซึ่งจะต้องมีการแปลจุดมุ่งหมายต่างๆ ออกเป็นเป้าหมายในการดำเนินงาน และสุดท้ายคือ การแปลเป้าหมายเป็นดรรชนี (Indicators) ที่สามารถใช้วัดประสิทธิผลของการดำเนินงานได้ (วราวุธ, 2537)

จากมุมมองของการจัดการระบบชลประทานนั้น สามารถชี้ได้เป็น 5 จุดมุ่งหมายหลัก ดังนี้ (Abernethy, 1990)

1. ผลผลิต (Productive) ระบบชลประทานควรจะผลิตอาหารและเส้นใยออกมา ควรใช้การจัดการช่วยหาความเหมาะสมของผลผลิตที่ได้ ในความสัมพันธ์ของผลผลิตรายปีต่อหน่วยของทรัพยากร ปัจจัยนำเข้าที่มีจำกัด ซึ่งอาจจะเป็น น้ำ ที่ดิน แรงงาน เป็นต้น

2. ความเท่าเทียม (Equity) ระบบชลประทาน คือ ปัจจัยทรัพยากรอย่างหนึ่ง หรือแหล่งของผลประโยชน์ที่มีศักยภาพต่อผู้ใช้น้ำชลประทาน การจัดการจะต้องแน่ใจว่าได้ให้ความเสมอภาคหรือความเท่าเทียมกันจากผลประโยชน์เหล่านั้น ความเท่าเทียมกันไม่ได้หมายถึงความเท่ากัน การจัดสรรทรัพยากรจากระบบชลประทาน ต้องพิจารณาจากสิทธิ ลำดับความสำคัญ โดยเอาเนื้อที่ถือครองและสภาพดินมาพิจารณาประกอบด้วย (วราวุธ, 2537)

3. ผลตอบแทน (Profitability) ระบบชลประทานจะต้องให้ผลตอบแทนที่เพียงพอต่อสิ่งที่เกี่ยวข้อง และเป็นไปแบบที่ยั่งยืนที่ระดับราคาพอประมาณต่อมูลค่าของผลผลิตที่ได้

4. ความยั่งยืน (Sustainability) ระบบชลประทานควรจะถูกจัดการไปในทางที่สามารถมองเห็นได้ต่อเนื่องของผลที่ได้ ไม่เฉพาะด้านกายภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ความอุดมสมบูรณ์ของดินและน้ำต้องไม่เลวลง

5. คุณภาพชีวิต (Quality of Life) ระบบชลประทานควรต้องทำให้คุณภาพของชีวิตความเป็นอยู่ในพื้นที่ดีขึ้น การดำเนินงานไม่ควรเป็นเหตุให้กลุ่มคนใดๆ มีคุณภาพชีวิตแย่ลงกว่าเดิม คำว่าคุณภาพชีวิตมีความหมายครอบคลุมถึงสุขภาพอนามัยระดับการจ้างงาน การพัฒนาชุมชน ผลกระทบต่อผู้หญิงและเด็ก และการเสียเปรียบของผู้อยู่ท้ายน้ำ ตลอดถึงการเปลี่ยนแปลง และปริมาณน้ำที่ไหลในทางน้ำ

จากจุดมุ่งหมายทั่วไปนี้ ผู้ที่ทำหน้าที่บริหารโครงการ ควรจะต้องแปรจุดมุ่งหมายเป็นเป้าหมาย ที่สามารถวัดได้ (Quantifiable targets) รูปแบบในการกำหนดเป้าหมาย (Target setting) ในระบบธุรกิจจะกระทำเป็นลำดับ (Hierarchy system) ผู้บริหารระดับสูงจะมีจุดมุ่งหมายและทิศทางอย่างกว้างๆ และจะวางระยะเวลายาวกว่าจะบรรลุจุดมุ่งหมายนั้น ในขณะที่ผู้บริหารระดับ

ต่ำลงมาจะมีเป้าหมายแคบลงภายใต้สภาพที่สามารถควบคุมได้ เพื่อให้การบรรลุเป้าหมายนั้นๆ สามารถส่งผลดีต่อการบรรลุจุดมุ่งหมายระดับสูงกว่าได้

ดรรชนีการจัดการน้ำชลประทาน

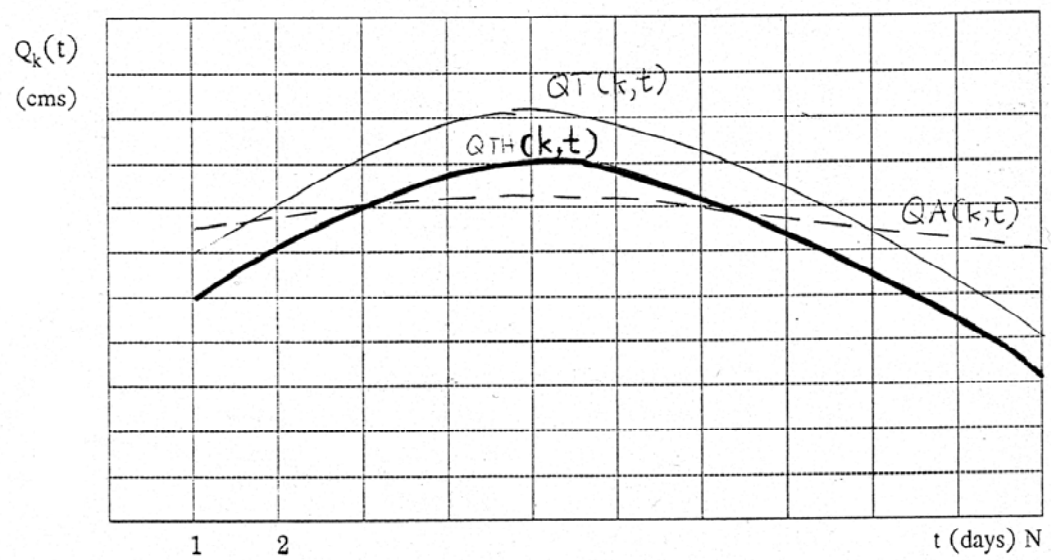
ระบบการจัดการน้ำที่ดี จะต้องสามารถส่งน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ให้กับบุคคลที่เหมาะสม และในช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งสามารถแสดงโดยดัชนีดังต่อไปนี้ (วราวุธ, 2545)

1. Efficiency (*Ei*) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 -100 % ระบบการจัดการน้ำที่ดี ค่า $Ei \geq 60\%$

2. Adequacy of Irrigation (AI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 -100% ระบบการจัดการน้ำที่ดี ค่า AI~100%

3. Reliability (R) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-100% ระบบการจัดการน้ำที่ดี ค่า R ~ 100%

4. Equity (EQ) มีค่าอยู่ระหว่าง <1 ถึง >1 ระบบการจัดการน้ำที่ดี EQ ~ 1.00



ภาพที่ 7 ปริมาณน้ำ (*Q*) ที่วัดได้และปริมาณน้ำ (*Q*) ตามทฤษฎี (วราวุธ, 2545)

$QTH(k,t)$	=	Theoretical Demand Q at location k, time t
$QT(k,t)$	=	Target Q at location k, time t
$QA(k,t)$	=	Actual Q at location k, time t

1. Efficiency (Ei)

1.1 $$Ei(k,t) = 100\frac{QTH(k,t) \bullet \Delta t}{QA(k,t) \bullet \Delta t}$$ ถ้า QA (k,t) $\geq$ QTH (k,t) (12)

1.2 $$Ei(k) = 100\frac{\int_1^N QTH(k,t) \bullet dt}{\int_1^N QA(k,t) \bullet dt}$$ ถ้า QA (k,t) $\geq$ QTH (k,t) (13)

1.3 $$Ei(t) = 100\frac{\sum_{k=1}^{M} QTH(k,t) \bullet \Delta t}{\sum_{k=1}^{M} QA(k,t) \bullet \Delta t}$$ ถ้า QA (k,t) $\geq$ QTH (k,t) (14)

2. Adequacy of Irrigation (AI)

ถ้า QA (k,t) $\leq$ QTH (k,t) (15)

2.1 AI (in term of volume), AIV

2.1.1 $$AIV(k,t) = 100\frac{QA(k,t) \bullet \Delta t}{QT(k,t) \bullet \Delta t}$$ (16)

2.1.2 $$AIV(k) = 100\frac{\int_1^N QA(k,t) \bullet dt}{\int_1^N QT(k,t) \bullet dt}$$ (17)

2.2 AI (in term of area), AIA

2.2.1 $$AIA(t) = 100 \frac{\sum_{k=1}^{M} \{A_k \mid QA(k,t) \geq QT(k,t)\}}{\sum_{k=1}^{M} A_k} \quad (18)$$

เมื่อ A_k = area of location k in rai

3. Reliability (R)

$$R(k) = \frac{\sum_{t=1}^{N} \{1 \mid QA(k,t) \geq QT(k,t)\}}{N} \quad (19)$$

เมื่อ $\{1 \mid QA(k,t) \geq QT(k,t)\}$ (20)

= a day which $QA(k,t) \geq QT(k,t)$ at location k

N = total no. of irrigation delivery days

4. Equity (EQ)

ความเท่าเทียม (Equity) ของระบบชลประทาน คือ ปัจจัยทรัพยากรอย่างหนึ่ง หรือแหล่งของผลประโยชน์ที่มีศักยภาพต่อผู้ใช้น้ำชลประทาน การจัดการจะต้องแน่ใจว่าได้ให้ความเสมอภาคหรือความเท่าเทียมกันจากผลประโยชน์เหล่านั้น ความเท่าเทียมกันไม่ได้หมายถึงความเท่ากัน การจัดสรรทรัพยากรจากระบบชลประทาน ต้องพิจารณาจากสิทธิ ลำดับความสำคัญ โดยเอาเนื้อที่ถือครองและสภาพดินมาพิจารณาประกอบด้วย (วราวุธ, 2537)

Levine (1982) ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับดรรชนีชี้วัดความเท่าเทียมกัน โดยวิธี Relative Water Supply โดยเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่พื้นที่ได้รับ กับปริมาณน้ำที่พื้นที่นั้นมีความต้องการ ซึ่งสามารถนำมาใช้วัดความเพียงพอของน้ำในแต่ละพื้นที่ได้ ดังสมการที่ 21

$$\text{Relative water supply} = \frac{\text{Total water supply}}{\text{Crop demand}} \tag{21}$$

หรือหากจะมองในด้านการจัดการน้ำชลประทานจะได้สมการดังสมการที่ 22

$$\text{Relative irrigation supply} = \frac{\text{Irrigation supply}}{\text{Irrigation demand}} \tag{22}$$

ต่อมา Sakthivadivel *et al*. (1999) ได้พิจารณาความสัมพันธ์ในด้านการส่งน้ำในช่วงเวลาต่างๆ ของฤดูกาล จะได้สมการดังสมการที่ 23

$$\text{Water delivery capacity}(\%) = \frac{\text{Canal capacity to delivery water at system head}}{\text{Peak consumptive demand}} \tag{23}$$

Garces (1983) ได้พัฒนาวิธีการประเมินประสิทธิผลการชลประทานใช้กับประเทศฟิลิปปินส์ในด้านความเสมอภาค (Equity) โดยมีการพิจารณาดังนี้

1. การกระจายผลผลิต (Production Distribution; PD)

$$PD = 1 - \sum_{s=1}^{n} \left| \%As - \%Ps \right| \tag{24}$$

2. การแพร่กระจายน้ำ (Flow Distribution; FD)

$$FD = 1 - \sum_{s=1}^{n} \left| \%As - \%Fs \right| \tag{25}$$

3. การกระจายผลผลิตต่อปริมาณน้ำ (Production Flow Distribution; PFD)

$$PFD = 1 - \sum_{s=1}^{n} \left| \%Ps - \%Fs \right| \tag{26}$$

เมื่อ As = พื้นที่เก็บเกี่ยวทั้งหมดที่ได้รับการช่วยเหลือโดยแบ่งเป็นส่วนๆ (section)

Ps = ผลผลิตทั้งหมดที่ได้รับการช่วยเหลือ

Fs = การไหลเข้าทั้งหมดซึ่งได้รับโดย Section

n = จำนวน Section

s = Section number

Lenton (1984) ได้กำหนดประสิทธิผลการส่งน้ำ (Water delivery performance) เพื่อใช้ในการวัดค่า และติดตามผลด้านผลิตผล และความเสมอภาค โดยการวัดอยู่ในรูปเชิงปริมาณ และเวลาของน้ำที่ส่งไปยังแปลง ดังสมการที่ 27

$$WDPi = \sum_{t=1}^{n} \frac{K(t)^{*}V(t)}{V_i'(t)} \tag{27}$$

เมื่อ $$V_i(t) \le V_i'(t) \tag{28}$$

$$\sum_{t}^{n} K(t) = 1 \tag{29}$$

$WDPi$ = ประสิทธิผลการส่งน้ำของแปลงที่ i

$V_i(t)$ = ปริมาณน้ำที่ส่งไปแปลงที่ i ในสัปดาห์ที่ t

$V_i'(t)$ = เป้าหมายที่ส่งน้ำไปแปลงที่ i ในสัปดาห์ที่ t

$K(t)$ = ค่าน้ำหนักถ่วง ตามความสัมพันธ์การใช้น้ำ ในช่วงต่างๆ ของการเจริญเติบโต

Molden and Gates (1990) ได้ทำการประเมินความเท่าเทียมกัน โดยวัดในเทอมของปริมาณน้ำ (Q) ที่จุด x ในระบบ ที่เวลา t ดังนี้

1. Actual

$$P_E = {}^{1}\!/_{CV_T} \sum_{T} CV_R(Q_D/Q_R) \tag{30}$$

2. Structural contribution

$$P_{ES} = {}^{1}\!/_{CV_T} \sum_T CV_R (Q_d / Q_s) \tag{31}$$

3. Management contribution

$$P_{EM} = {}^{1}\!/_{CV_T} \sum_T CV_R (Q_D / Q_d) \tag{32}$$

Q_D = ปริมาณน้ำที่ระบบส่งจริง

Q_R = น้ำที่ต้องการใช้โดยพืช และผู้ใช้น้ำอื่นๆ

Q_s = น้ำที่ส่งจำกัดจำนวนตามแผน

Q_d = น้ำที่สามารถส่งได้เต็มที่ตามแผนซึ่งกำหนดไว้สมบูรณ์แบบ

CV_T = ค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ

CV_R = ค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะในแต่ละพื้นที่

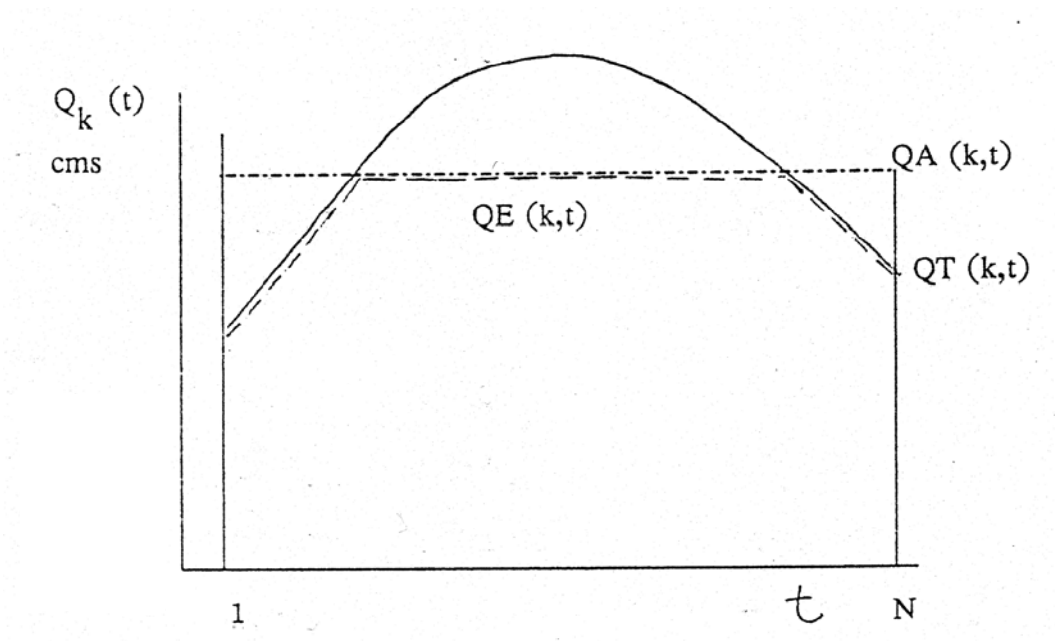
วราวุธ (2537) ได้ทำการรวบรวมดรรชนีชี้วัดด้านความสม่ำเสมอในการส่งน้ำไว้ ดังนี้

$$MIR = \frac{\text{High Quarter Average DPR}}{\text{Low Quarter Average DPR}} = \frac{DPR_H}{DPR_L} \tag{33}$$

เมื่อ MIR = ค่าดรรชนีชี้วัดความสม่ำเสมอในการส่งน้ำ

DPR_H = ค่าเฉลี่ยจากส่วนหนึ่งในสี่ของพื้นที่ที่ได้รับน้ำมากที่สุด

DPR_L = ค่าเฉลี่ยจากส่วนหนึ่งในสี่ของพื้นที่ที่ได้รับน้ำน้อยที่สุด



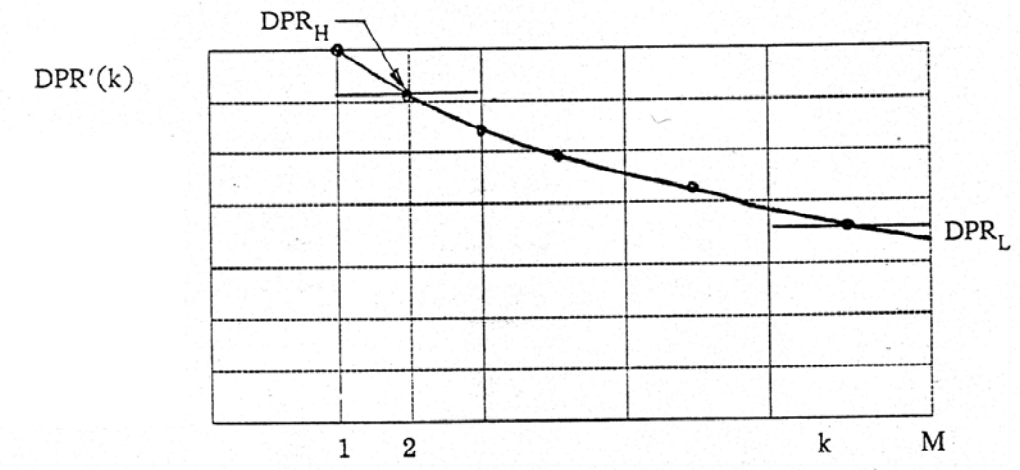
ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำประสิทธิผล

ที่มา: วราวุธ (2545)

QE (k,t)	=	Effective Q at location k, time t
QE (k,t)	=	QA (k,t)if QA (k,t) $\leq$ QT (k,t)
	=	QT (k,t) if QA (k,t) > QT (k,t)

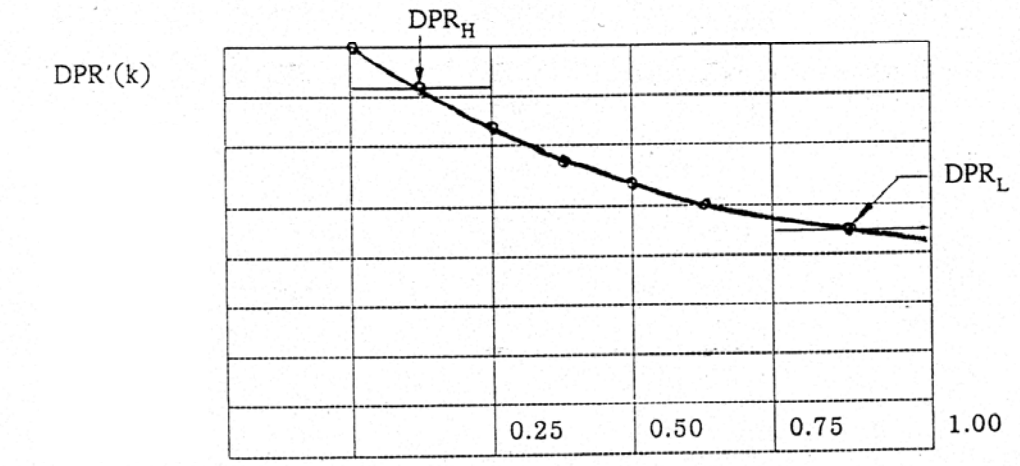
$$DPR'(k) = \frac{\int_1^N QE(k,t) \bullet dt}{\int_1^N QT(k,t) \bullet dt} \tag{34}$$

4. ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำแต่ละพื้นที่มีขนาดเท่าๆ กัน จะได้ค่า DPR′(k) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ค่า DPR′(k) ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำมีขนาดเท่าๆ กัน
ที่มา: วราวุธ (2545)

5. ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำแต่ละพื้นที่มีขนาดต่างกัน จะได้ค่า DPR′(k) ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ค่า DPR′(k) ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำมีขนาดต่างกัน
ที่มา: วราวุธ (2545)

ความต้องการน้ำของโครงการชลประทาน

ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องใช้ส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทาน ที่สามารถให้พืชนำไปใช้ได้อย่างเพียงพอกับความต้องการ ประกอบด้วย การใช้น้ำของพืช การสูญเสียต่างๆ ทั้งหมดในระบบส่งน้ำหักออกด้วยปริมาณฝนใช้การ เป็นความต้องการน้ำชลประทาน (วัชระ, 2537)

ความต้องการน้ำชลประทาน หมายถึง ความต้องการน้ำที่ปากคลองส่งน้ำเพื่อส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก ซึ่งปลูกข้าว พืชไร่ พืชผัก และอื่นๆ (มนัส, 2538)

ฉลอง (2538) ได้ให้คำจำกัดความของปริมาณน้ำชลประทานที่จะต้องส่งให้แปลงเพาะปลูกว่า

ปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้แปลงเพาะปลูก

$$= \frac{\text{ปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎี + การรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก - ฝนใช้การ}}{\text{ประสิทธิภาพการชลประทาน}} \qquad (35)$$

การประเมินความต้องการน้ำชลประทานของโครงการล่วงหน้าตลอดฤดูกาล

การประเมินความต้องการน้ำชลประทานของโครงการล่วงหน้าตลอดฤดูกาล มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดขนาดพื้นที่สูงสุดที่จะส่งน้ำให้ได้ในแต่ละโซน หรือในแต่ละโครงการ และเพื่อประมาณล่วงหน้าถึงปริมาณน้ำที่จะต้องส่งในแต่ละสัปดาห์สำหรับฤดูกาลที่กำลังจะมาถึง การประเมินความต้องการน้ำชลประทานของโครงการจะอาศัยข้อมูลกิจกรรมการเพาะปลูกและฝนในอดีตมาเป็นพื้นฐานในการประเมิน ถ้าการประเมินดังกล่าวถูกต้องแม่นยำ จะทำให้การส่งน้ำมีประสิทธิภาพสูง ไม่มีปัญหาเรื่องการขาดน้ำหรือส่งน้ำมากเกินความต้องการ แต่การประเมินจะถูกต้องแม่นยำมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับข้อมูลกิจกรรมการเพาะปลูก และฝนในอดีตจะใกล้เคียงกับการเพาะปลูก และฝนที่จะเกิดจริงในฤดูกาลที่กำลังจะมาถึงมากน้อยเพียงใด (วราวุธ, 2538 ก)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Consumptive use or Evapotranspiration) หมายรวมถึง ปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากแปลงเพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ สองส่วน (วิบูลย์, 2526) คือ

1. ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดินเพื่อนำไปใช้สร้างเซลล์ และเนื้อเยื่อแล้วคายออกทางปากใบสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration)

2. ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดิน บริเวณรอบๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำ หรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝน หรือการให้น้ำ ซึ่งเรียกว่า การระเหย Evaporation)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Consumptive use or Evapotranspiration) หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อ และคายออกสู่บรรยากาศ รวมทั้งปริมาณน้ำที่ระเหยไปจากผิวดินหรือผิวน้ำรอบๆ ต้นพืช และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามลำต้น ใบ เนื่องจากฝน หรือการชลประทาน ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชที่ปลูก ระยะการเจริญเติบโต ฤดูกาล วิธีการปลูกพืช สภาพดินฟ้าอากาศ วิธีการให้น้ำ ปริมาณน้ำส่วนนี้เป็นองค์ประกอบเบื้องต้นในการพิจารณาความต้องการน้ำชลประทาน การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชมีมากมายหลายวิธี ทั้งการตรวจวัดจริงในสนาม และการคำนวณจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศ โดยใช้สูตรที่ได้จากการทดลอง (Empirical formula) ส่วนการจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ซึ่งวิธีต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ (เจษฎา, 2527)

การใช้ถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช

ถ้าจะเปรียบเทียบถังวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชก็คือ กระถางต้นไม้ขนาดใหญ่ที่ปลูกพืชที่ต้องการวัดปริมาณการใช้น้ำ และติดตั้งอยู่ในพื้นที่เพาะปลูกที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน โดยทำให้มีสภาพทั้งภายในและภายนอกถังคล้ายกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติของแปลงเพาะปลูกมากที่สุด ถังดังกล่าวจะมีอุปกรณ์สำหรับวัดน้ำที่สูญเสียไปเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ช่วงเวลาต่างๆ

การหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน

การหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชวิธีนี้ เป็นการหาค่าการใช้น้ำของพืชไร่ในแปลงเพาะปลูก โดยการวัดความชื้นในดินหลังการให้น้ำครั้งแรก และก่อนการให้น้ำในครั้งต่อไป ทำเช่นนี้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ค่าความชื้นในดินที่หายไปในช่วงที่ทำการวัดสองครั้งจะถือว่าเป็นค่าการใช้น้ำของพืชในช่วงเวลานั้นนั่นเอง วิธีนี้เหมาะสำหรับบริเวณซึ่งมีระดับน้ำใต้ดินลึกมาก จนเชื่อแน่ว่าจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเขตของราก ความถูกต้องของค่าการใช้น้ำของพืชขึ้นอยู่กับความถูกต้องในการวัดความชื้นในดิน เนื่องจากดินในเขตรากพืชและการเปลี่ยนแปลงความชื้นมักจะไม่สม่ำเสมอกัน การวัดความชื้นจึงควรจะวัดเป็นชั้นๆ ละประมาณ 10 - 15 เซนติเมตร จากผิวดินจนตลอดชั้นดินซึ่งพืชสามารถดูดความชื้นขึ้นมาใช้ได้ และควรจะทำการวัดหลายๆ จุดในแปลงเพาะปลูกเพื่อหาค่าเฉลี่ย ข้อควรระวังคือ ในการวัดความชื้นในดินหลังจากการให้น้ำ ควรจะทิ้งช่วงเวลาให้นานพอจนแน่ใจว่า ความชื้นในเขตรากอยู่ที่ระดับความชื้นชลประทาน (Field capacity) เพราะถือว่าความชื้นที่เกินกว่าระดับความชื้นชลประทานไม่มีประโยชน์ (วราวุธ, 2525)

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากสูตร

สภาพภูมิอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช จากความจริงในข้อนี้จึงได้มีการคิดค้นสูตรเพื่อใช้ในการประมาณค่าการใช้น้ำของพืช โดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศในท้องถิ่นที่มีการวัดไว้ สูตรดังกล่าวมีทั้งแบบง่ายๆ ซึ่งต้องการข้อมูลเพียงอย่างเดียว หรือสองอย่าง หรือสูตรที่ยุ่งยากซับซ้อน และต้องการข้อมูลมาก แต่อย่างไรก็ตาม ไม่จำเป็นว่าสูตรที่ยุ่งยากและต้องการข้อมูลหลายอย่างจะให้ค่าถูกต้องดีกว่าสูตรแบบง่ายๆ เสมอไป การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะงาน ความละเอียดถูกต้อง และข้อมูลที่หามาได้เป็นสำคัญ สูตรที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไป ได้แก่ สูตรของ Blaney-Criddle, Makkink, Jensen-Haise และสูตรของ Penman ค่าที่คำนวณได้จากสูตรเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration) และสามารถที่จะหาปริมาณการใช้น้ำของพืชต่างๆ ได้จากสมการ (ทวี, 2528)

การหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถทำได้โดยการทำการวัดในสนาม หรือคำนวณจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศในรูปของปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งจะสามารถคำนวณการใช้น้ำของพืชชนิดต่างๆ ได้จากสมการต่อไปนี้

$$ET = Kc * ETp \quad (36)$$

กำหนดให้ ET = ปริมาณการใช้น้ำของพืช มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน

Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชซึ่งจะแปรผันไปตามชนิดและระยะเวลาในการเจริญเติบโตของพืช

ETp = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถาดวัดการระเหย

เนื่องจากองค์ประกอบของสภาพภูมิอากาศ เช่น รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม มีผลต่อค่าการระเหยของน้ำเช่นเดียวกับค่าการใช้น้ำของพืช ดังนั้น ในกรณีที่ไม่มีการวัดค่าการใช้น้ำของพืชไว้อาจจะประมาณได้จากค่าการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหย โดยอาศัยความสัมพันธ์ ดังสมการ (ทวี, 2528)

$$ET = Kp * Epan \quad (37)$$

กำหนดให้ ET = ปริมาณการใช้น้ำของพืช มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน

Kp = สัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยเบ็ดเสร็จ (Overall Pan Coefficient) ซึ่งจะแปรผันตามชนิดของพืช และระยะเวลาในการเจริญเติบโต

Epan = ปริมาณการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหย มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน

การประเมินค่าการใช้น้ำของพืชจากค่าการระเหยอาจจะทำได้อีกวิธีหนึ่ง โดยการแปลงค่าการระเหยจากถาด เป็นค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และเมื่อต้องการหาค่าการใช้น้ำของพืชจะทำได้โดยใช้สมการที่ (38) (วราวุธ, 2525)

$$ETp = Kp * Epan \quad (38)$$

กำหนดให้ ET และ Epan มีความหมายเหมือนที่กล่าวมาแล้ว

Kp = สัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย (Pan Coefficient)

วราวุธ (2539 อ้างถึง วิบูลย์, 2518) ว่าได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากสูตร Penman, Thornwaite, Blaney-Criddle และ Makkink กับค่าการระเหย สรุปได้ว่าค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณจากสูตร Penman เหมาะกับประเทศไทยมากกว่าประเทศอื่น

ความต้องการใช้น้ำสำหรับการปลูกข้าว

ข้าวที่ปลูกกันในประเทศไทยส่วนมากเป็นข้าวพันธุ์ที่สามารถเจริญเติบโตได้ในพื้นที่ที่มีน้ำขังอันเนื่องจากความเหมาะสมในด้านภูมิประเทศ ดิน ลักษณะภูมิอากาศ ดังนั้น นอกจากจะต้องจัดหาน้ำให้ต้นข้าวไว้สร้างเนื้อเยื่อและคายน้ำทางใบแล้ว ยังจะต้องใช้น้ำอีกจำนวนหนึ่ง เนื่องจากการระเหยของน้ำที่ขังอยู่ในแปลง และการรั่วซึมลงไปในดิน (เจษฎา, 2527)

ฉลอง (2527) ได้กล่าวไว้ว่า ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้เพื่อใช้สำหรับการปลูกข้าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง ตกกล้า และหลังปักดำ

1. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง หมายถึง ปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่พื้นที่ก่อนการเพาะปลูกข้าว โดยมีจุดประสงค์คือ ทำให้ดินมีสภาพเหมาะสมต่อการเพาะปลูก และยังช่วยให้ดินระดับต่ำกว่ารอยไถแน่นขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้สามารถลดการสูญเสีย เนื่องจากการรั่วซึมของน้ำลงในดินได้อีกด้วย

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงจะมีอัตราสูง เมื่อเทียบกับอัตราการใช้น้ำของข้าวหลังจากปักดำ หรือหว่านเมล็ดแล้ว ฉะนั้น ระยะเวลาในการเตรียมแปลงจึงมีความสำคัญต่อปริมาณน้ำมาก จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเพาะปลูกของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสามชุก พบว่า ระยะเวลาในการเตรียมแปลงในแต่ละโซนจะผันแปรจาก 4 ถึง 8 สัปดาห์ในช่วงฤดูแล้ง และ 6 ถึง 10 สัปดาห์ในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจุของระบบส่งน้ำเป็นสำคัญ (ฉลอง, 2527)

ดิเรก (2529) ได้แนะนำว่า ช่วงเวลาเตรียมแปลงในการออกแบบระบบส่งน้ำประมาณ 30 วัน ปริมาณน้ำที่ทำให้ดินเปียกชุ่มและอ่อนตัวอยู่ระหว่าง 150 – 170 มิลลิเมตร ส่วนปริมาณน้ำที่ส่งให้เพื่อรักษาระดับน้ำขังในแปลงนาครั้งแรกประมาณ 30 – 50 มิลลิเมตร รวมเป็นปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลง 200 มิลลิเมตร ทั้งนี้ยังไม่ได้รวมปริมาณน้ำที่รั่วซึม และระเหยจากผิวดินที่ขังในแปลงนาขณะเตรียมแปลง

สรศักดิ์ (2533) ได้ทำการศึกษาการใช้น้ำในการเตรียมแปลงสำหรับการปลูกข้าวในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดงเศรษฐี โดยแยกปัจจัยการทดลองออกเป็น 2 ปัจจัย คือ วิธีการไถและวิธีการปลูก ทำให้เกิดเงื่อนไขการทดลอง 4 ประเภท คือ ไถเปียก - ทำนาดำ ไถแห้ง - ทำนาดำ ไถเปียก – ทำนาหว่านน้ำตม และไถแห้ง - ทำนาหว่านน้ำตม และเงื่อนไขการทดลองจะทำ 4 แปลงกระจายออกไปตามโซนต่างๆ ทั้ง 4 โซน ของงานส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำที่ขังในแปลงนาสำหรับการทำนาดำ และนาหว่านน้ำตมเท่ากับ 66 และ 39 มิลลิเมตร เมื่อคิดโดยเฉลี่ยแล้วจะมีค่าเท่ากับ 53 มิลลิเมตร หากพิจารณาในด้านปัจจัยที่ใช้ในการเตรียมแปลงจากวิธีการไถพบว่า สำหรับการไถเปียกและไถแห้งมีค่าเท่ากับ 322 และ 218 มิลลิเมตร ซึ่งการไถเปียกต้องการน้ำมากกว่าการไถแห้ง 104 มิลลิเมตร ถ้าพิจารณาถึงวิธีการปลูกพบว่า ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงสำหรับการทำนาดำ และทำนาหว่านน้ำตมมีค่าเท่ากับ 327 และ 214 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งการปลูกข้าวด้วยวิธีทำนาดำต้องการน้ำมากกว่าวิธีทำนาหว่านน้ำตม 113 มิลลิเมตร สำหรับเงื่อนไขการทดลองอันประกอบด้วย ไถเปียก – ทำนาดำ ไถแห้ง - ทำนาดำ ไถเปียก - ทำนาหว่านน้ำตม และไถแห้ง – ทำนาหว่านน้ำตม มีปริมาณน้ำการใช้น้ำในการเตรียมแปลง โดยเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไขเท่ากับ 410, 243, 235, 194 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยของทุกวิธีการทดลองมีค่าเท่ากับ 270 มิลลิเมตร โดยแบ่งเป็นปริมาณน้ำที่ทำให้ดินเปียกชุ่ม 145 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำที่ขังในแปลงนา 53 มิลลิเมตร ค่าการระเหย 61 มิลลิเมตร และค่าการรั่วซึม 11 มิลลิเมตร และระยะเวลาในการเตรียมแปลงโดยเฉลี่ย 12 วัน

กรมชลประทาน (2538) ได้ทำการศึกษาหาปริมาณน้ำในการใช้เตรียมแปลงบนแปลงทดลองที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบนได้เท่ากับ 223.5 มิลลิเมตร โดยไม่รวมการระเหยของน้ำในแปลงและการรั่วซึมลงไปในดิน โดยมีระยะเวลาการเตรียมแปลง 2 สัปดาห์

ปริมาณน้ำและระยะเวลาในการเตรียมแปลงซึ่งมีการศึกษาที่โครงการฯ ต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

2. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการตกกล้า คือปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้พื้นที่ที่ทำการตกกล้าก่อนนำกล้าไปปักดำ ประกอบด้วยปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงกล้า และปริมาณน้ำที่กล้าใช้โดยระยะเวลาในการเตรียมแปลงตกกล้าประมาณ 1 สัปดาห์ อายุของต้นกล้าประมาณ 20 – 30 วัน ซึ่งต้นกล้าจากแปลงเพาะกล้านั้นจะสามารถนำไปปักดำได้ในอัตราส่วน ต้นกล้า 1 ไร่ ต่อพื้นที่ปักดำ 15 - 25 ไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนต้นกล้า และความสมบูรณ์ของต้นกล้าที่ใช้ในการปักดำ (ดิเรก, 2528)

เนื่องจากพื้นที่ตกกล้ามีจำนวนน้อยและใช้ระยะเวลาสั้น ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการตกกล้าและเตรียมแปลงจึงมีปริมาณไม่มากนัก ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำใช้ทั้งหมดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงปักดำ หรือคิดเป็นความลึกของน้ำประมาณ 30–40 มิลลิเมตรต่อพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด (ดิเรก, 2528)

กอบเกียรติ (2528) ได้คำนวณปริมาณการใช้น้ำของต้นกล้า ซึ่งมีอายุประมาณ 3 สัปดาห์ โดยคิดว่าสภาพต้นกล้าปลูกในแปลงคล้ายคลึงกับสภาพของพืชอ้างอิง จึงสมมติให้สัมประสิทธิ์การใช้ของต้นกล้าเท่ากับ 1

3. ปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการใช้หลังจากการปักดำและหว่าน หมายถึง ปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการใช้ในการเจริญเติบโตด้วยการคายน้ำทางใบ รวมถึงปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวน้ำในแปลงนา โดยทั่วไปอายุของต้นข้าวจะอยู่ระหว่าง 90-150 วัน และจะหยุดการส่งน้ำให้แก่ข้าวประมาณ 2 สัปดาห์ก่อนการเก็บเกี่ยว (ลำจวน, 2539)

ดิเรก (2526) ได้ทำการวัดอัตราการใช้น้ำของข้าวโดยตรง จากถังวัดการใช้น้ำของข้าวที่สถานีค้นคว้าวิจัยการใช้น้ำของข้าว กรมชลประทาน พบว่า ปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการใช้ประมาณ 4-7 มิลลิเมตรต่อวัน ในฤดูฝน และ 5-9 มิลลิเมตรต่อวัน ในฤดูแล้ง

การหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวโดยการคำนวณสามารถทำได้ด้วยการคำนวณจากสภาพภูมิอากาศในรูปของการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว ซึ่งสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าวจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเจริญเติบโตของข้าว ค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ได้จากการทดลองในสนามโดยการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ณ ที่แห่งเดียวกัน และทดลองในสนามโดยการใช้น้ำของข้าวเทียบกับการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ณ ที่แห่งเดียวกัน และเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำขึ้นอยู่กับอายุของพืชเป็นสำคัญ ดังนั้น ค่าดังกล่าวไม่ว่าจะได้ทำการศึกษา ณ ที่ใดก็พอที่จะนำไปใช้ในที่อื่นได้ (เขมชาติ, 2529)

ความต้องการใช้น้ำสำหรับการปลูกพืชไร่

ความต้องการใช้น้ำของพืชไร่จะมีค่าประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้น้ำของข้าว (ดิเรก, 2526) ปริมาณการใช้น้ำสำหรับการปลูกพืชไร่จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการเตรียมแปลง ลำจวน (2539) อ้างถึง กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน ได้ทำรายงานเกี่ยวกับการศึกษาทดลองปลูกพืชไร่ที่สถานีวิจัยต่างๆ ทั่วประเทศ 6 สถานี โดยการวัดความชื้นในดินก่อนการส่งน้ำ และคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้แก่พื้นที่เพื่อให้ดินมีความชื้นเท่ากับความชื้นชลประทาน ซึ่งจากการทดลองปรากฏว่า ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้แก่พื้นที่ก่อนการเพาะปลูกเพื่อการเตรียมแปลงมีค่าประมาณ 50 - 64 มิลลิเมตร โดยใช้ระยะเวลาเตรียมแปลงประมาณ 1 สัปดาห์

2. ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตของพืชไร่ สามารถคำนวณจากสภาพภูมิอากาศในรูปของการใช้น้ำของพืชอ้างอิง และสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ตารางที่ 2 ปริมาณการใช้น้ำเป็นมิลลิเมตร และระยะเวลาเป็นสัปดาห์ในการเตรียมแปลง

โครงการ	ปี	ฤดูแล้ง	ระยะเวลา	ฤดูฝน	ระยะเวลา
มโนรมย์	2522	350	2	-	-
สามชุก	2522	350	2	280	2
หนองหวาย	2525	-	-	250	-
หนองหวาย	2526	350	3	300	3
น้ำอูน	2527	-	-	250	3
เพชรบุรี	2528	300	3	200	3
ลำพระเพลิง	2528	300	2	200	2
แก่งคอย (โครงการสูบน้ำเพื่อการชลประทาน)	2525	200	4	200	4
น้ำสวย	2524	250	4	200	4
ดงเศรษฐี	2533	270	2	-	-

ที่มา: วัชระ (2537)

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเตรียมแปลง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

โครงการฯ	นาปรัง	นาปี	วิธีหา
กำแพงแสน	200	200	1
เจ้าพระยา	190	190	1
แม่กลอง	190	175	1
แม่กวง	230	200	1
แม่น้ำวัง-กิ่วลม	200	200	1
เจ้าพระยาตอนบน	255	255	
เจ้าพระยาตอนล่าง	230	255	
พระองค์ไชยยานุชิต	160	166	
ลำปาว	300-350	300-350	

หมายเหตุ วิธีหาวิธีที่ 1 ปริมาณน้ำที่ทำให้ดินอิ่มตัว และหล่อเลี้ยงไม่ให้ดินแห้งเป็นเวลา 30 วัน
ที่มา: วัชระ (2537)

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชโดยวิธีของ Modified Penman (Kc) เป็นรายสัปดาห์

สัปดาห์ที่	ข้าว กข.	ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ถั่วเหลือง	หอมแดง	คะน้า
1	0.90	0.50	0.57	0.59	0.46
2	0.94	0.57	0.62	0.67	0.54
3	0.98	0.68	0.73	0.77	0.61
4	1.13	0.89	0.91	0.85	0.64
5	1.21	1.12	1.13	0.93	0.70
6	1.27	1.26	1.22	0.97	0.74
7	1.32	1.33	1.25	0.97	0.65
8	1.30	1.35	1.23	0.93	0.60
9	1.26	1.34	1.16	0.84	
10	1.21	1.30	1.00	0.72	
11	1.11	1.20	0.78	0.60	
12	0.85	1.00	0.68	0.52	
13	0.75	0.77	0.64		
14		0.58	0.62		
เฉลี่ย	1.09	0.99	0.89	0.78	0.61

ที่มา: กรมชลประทาน (2540)

ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชโดยวิธีของ Modified Penman (Kc) เป็นรายเดือน

เดือน	อ้อย	หน่อไม้ฝรั่ง	มะนาว	มะม่วง	ส้มโอ
มกราคม	0.47	0.62	0.96	1.44	1.32
กุมภาพันธ์	0.68	1.00	0.92	1.29	1.19
มีนาคม	0.85	1.27	0.97	1.04	0.91
เมษายน	1.03	1.31	1.25	1.06	0.87
พฤษภาคม	1.20	1.07	1.31	1.04	1.00
มิถุนายน	1.00	0.88	1.38	1.84	1.73
กรกฎาคม	0.86	0.71	1.17	2.06	2.04
สิงหาคม	0.65	0.56	0.99	2.33	2.17
กันยายน	0.50	0.47	1.18	2.07	1.79
ตุลาคม	0.42	0.54	1.25	2.12	1.82
พฤศจิกายน		0.66	1.06	2.29	1.74
ธันวาคม		0.66	1.07	1.54	1.44
เฉลี่ย	0.76	0.76	1.12	1.60	1.44

ที่มา: กรมชลประทาน (2540)

ปัจจุบัน FAO แนะนำให้ใช้สูตร Penman - Montieth สำหรับการคำนวณ ETo พร้อมพัฒนาโปรแกรม CROPWAT รุ่น 8.0 ที่พัฒนามาจาก CROPWAT รุ่น 5.7 สำหรับใช้ช่วยในการคำนวณค่า ETo และค่าความต้องการใช้น้ำชลประทาน เพื่อใช้ในการวางแผนการชลประทาน เมื่อนำสูตร Penman - Montieth มาคำนวณ ETo ของสถานีตรวจวัดภูมิอากาศเกษตรของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 29 สถานี เปรียบเทียบการคำนวณ ETo โดยใช้ Modified Penman พบว่าสูตร Penman -Montieth ให้ค่า ETo ต่ำกว่าสูตร Modified Penman ประมาณ 19% ค่า Kp ซึ่งคำนวณจาก ETo (Penman - Montieth) และอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ A มีค่าเฉลี่ย 0.84 ซึ่งใกล้เคียงกับที่วิบูลย์ (2518) แนะนำไว้ คือ 0.85 (วราวุธ, 2539)

ปริมาณน้ำที่รั่วซึมลงในดิน

ปริมาณน้ำที่รั่วซึมลงในดิน คือ ปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ต้องสูญเสียไปโดยไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้สำหรับการปลูกข้าว ซึ่งจะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดนั้นย่อมขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของดิน วิธีการเตรียมแปลง ความสูงของระดับน้ำในแปลงนา (เขมชาติ, 2529)

อัตราการรั่วซึมในแปลงนา (Percolation loss) เป็นการสูญเสียโดยการซึมลึกลงในดิน และเป็นสิ่งที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ และจะต้องรวมอยู่ในความต้องการใช้น้ำของพืช เช่น ข้าว กรณีอื่นๆ ค่านี้ไม่สู้มีความสำคัญมากนัก การซึมลึกลงไปในดินจะมีปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพดิน ชนิดดิน ความลึกดินที่ไถพรวนหรือเตรียมแปลง ระดับน้ำในแปลงนาและระดับน้ำใต้ดิน เช่น ชั้นดินเหนียวที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้นจะมีการสูญเสียน้ำโดยการซึมลึกได้ราววันละ 1 – 2 มิลลิเมตร หากเป็นดินทรายจะมีน้ำใต้ดินอยู่ลึกอาจมีการสูญเสียน้ำ โดยมีการซึมลึกลงไปมากถึงวันละ 7 – 10 มิลลิเมตร (ประพันธ์, 2539)

กรมชลประทาน (2539 อ้างถึง AIT, 1983) ว่า ได้ทดลองวัดอัตราการรั่วซึมของพื้นที่ชลประทาน ซึ่งรับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง จังหวัดนครราชสีมาไว้ 3 โครงการ ซึ่งมีลักษณะดินเป็นประเภทเดียวกัน ดังนี้ โครงการบึงกระโดน 1.9 มิลลิเมตรต่อวัน โครงการห้วยยาง 1.3 มิลลิเมตรต่อวัน โครงการห้วยสะกาด 1.9 มิลลิเมตรต่อวัน

ฉลอง และ ชัยวัฒน์ (2527) ได้ทำการวัดการรั่วซึมของน้ำในแปลงนาบนพื้นที่เพาะปลูกข้าว ทั้งโครงการชลประทานน้ำอูน จำนวน 31 ชุด ได้ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่รั่วซึมลงไปในดินเท่ากับ 0.85 มิลลิเมตรต่อวัน

ประพันธ์ (2539) อ้างถึงกองวางโครงการ กรมชลประทาน ว่าได้กำหนดค่าการรั่วซึมของน้ำในแปลงนาเพื่อเป็นเกณฑ์ในการคำนวณออกแบบระบบส่งน้ำของโครงการชลประทานในการจัดรายงานความเหมาะสมของโครงการฯ เป็นภาค ดังนี้

1. ภาคกลาง ใช้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรต่อวัน
2. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ใช้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 2.0 มิลลิเมตรต่อวัน
3. ภาคอื่นๆ ใช้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตรต่อวัน

ทวี (2528) ทำการวัดการรั่วซึมของน้ำในแปลงนา ในแปลงจัดรูปที่ดินตัวอย่างของโครงการแม่กลองใหญ่ ได้ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดินเท่ากับ 1.2 มิลลิเมตรต่อวัน

ฉลอง (2531) ได้ศึกษาที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาหนองหวาย จังหวัดขอนแก่น ในปี พ.ศ. 2525 ฤดูฝน ได้อัตราการรั่วซึมเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวัน

กรมชลประทาน (2538) ได้ทำการวัดการรั่วซึมบนแปลงทดลอง ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน จังหวัดนครราชสีมา ได้ค่าการรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูกเฉลี่ย 1.78 มิลลิเมตรต่อวัน

ประพันธ์ (2539) ได้ทำการตรวจวัดค่าการรั่วซึมในแปลงนาที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ได้ค่าเฉลี่ยของการรั่วซึมเท่ากับ 0.84 มิลลิเมตรต่อวัน

อัตราการซึมลงในดินที่มีการศึกษาและใช้ที่โครงการฯ ต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อัตราการซึมลงในดินของโครงการชลประทานต่างๆ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน

โครงการฯ	ชนิดดิน	ที่มา	อัตราการซึม
กำแพงแสน	ดินเหนียวจัด	1	1.0
เจ้าพระยา	ดินร่วนปนตะกอน	1	1.0
แม่กลอง	ดินร่วนปนตะกอน	1	1.0
แม่กวง	ดินเนื้อหยาบ	2	2.0
	ดินเนื้อปานกลาง		1.3
	ดินเนื้อละเอียด		0.8
แม่น้ำวัง-กิ่วลม	ดินร่วนปนทราย	2	1.1
	SiCL		0.6
	SL-L		0.4
	SCL-CL		3.6
ลำตะคอง	ดินเนื้อปานกลาง	1	1.0
พระยาบรรลือ		1	0.5-1.9
พระองค์ไชยานุชิต			
บรมธาตุ (นาปี)		1	0.5
บรมธาตุ (นาปรัง)			1.0
ลำพระเพลิง (นาปี)		2	1.04
เพชรบุรี (นาปี)		1	1.0
เพชรบุรี (นาปรัง)			1.5

หมายเหตุ 1. ได้มาจากการกำหนดและอ้างอิง

2. ได้มาจากการวัดและทดลอง

ที่มา: วัชระ (2537)

ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน

เมื่อทราบว่าพืชแต่ละชนิดที่ปลูกในฤดูกาลหนึ่งๆ มีความต้องการใช้น้ำของพืชเท่าใด และมีปริมาณความต้องการใช้น้ำในแปลงนาเท่าใดแล้ว ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ทั้งหมดตลอดฤดูกาลได้ ถ้าทราบจำนวนพื้นที่ที่ใช้เพาะปลูก หรือคำนวณหาความต้องการใช้น้ำทั้งหมดเป็นวัน เป็นเดือน เป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ ได้เช่นเดียวกัน น้ำจำนวนที่พืชต้องการนี้จะได้รับมาจาก 2 ทาง คือ จากน้ำฝนทางหนึ่ง และจากน้ำชลประทานทางหนึ่ง สำหรับน้ำฝนนั้นจะต้องพิจารณาจากปริมาณฝนที่ใช้ประโยชน์ได้ หรือปริมาณฝนที่จะเป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูก เรียกว่า ฝนใช้การ (Effective rainfall)

ดังนั้น ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน ก็คือ ปริมาณความต้องการใช้น้ำในแปลงหักด้วยปริมาณฝนที่ใช้ประโยชน์ หรือฝนใช้การนั่นเอง สำหรับน้ำชลประทานมากไปก็จะทำให้ปริมาณน้ำบางส่วนมีการสูญเสีย โดยการไหลล้นท้ายแปลงเพาะปลูก (Runoff) และไม่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีก ในกรณีเช่นนี้ ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานจึงต้องคิดเผื่อไว้สำหรับน้ำที่ต้องสูญเสียเหล่านี้ด้วย

ปริมาณฝนใช้การ

ฉลอง (2538) ได้กล่าวว่าปริมาณฝนใช้การ หมายถึง ปริมาณฝนที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำชลประทานได้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญๆ คือ ปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลาต่างๆ ปริมาณการใช้น้ำของพืช ความเคยชินของชาวนาต่อการเก็บกักน้ำชลประทานไว้ในแปลงนา และขีดความสามารถที่จะเก็บกักน้ำฝนไว้ในแปลงนาได้มากๆ เป็นต้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในเดือนที่มีฝนตกน้อย เปอร์เซ็นต์ของฝนใช้การจะสูงกว่าเดือนที่มีฝนตกมาก และยังขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตกในเดือนก่อนๆ เป็นสำคัญด้วย

การคำนวณหาปริมาณฝนใช้การโดยพิจารณาจากคำจำกัดความที่ว่า ฝนใช้การ คือ ปริมาณฝนที่ตกลงมาและขังอยู่ในระหว่างคันนาและยังไม่ได้ไหลล้นออกไป โดยมีข้อสมมติฐานว่า เมื่อระดับน้ำในแปลงนาถูกใช้ลดลงถึงระดับเก็บกักต่ำสุด จะส่งน้ำชลประทานให้ถึงระดับปานกลางและมีฝนตกลงมา ถ้าระดับน้ำในแปลงนาเพิ่มขึ้นถึงระดับเก็บกักสูงสุด ฝนส่วนที่เหลือก็ถือว่าไหลล้นออกจากคันนา ไม่ถือว่าเป็นฝนใช้การ

ปริมาณฝนใช้การ หาได้โดยการทำการจำลอง ระดับน้ำประจำวันในแปลงนากับวิธีการส่งน้ำชลประทาน และระดับน้ำสูงสุดในแปลงนาที่ยอมให้ปริมาณฝนที่ใช้การ ในแต่ละเดือนสามารถที่จะคำนวณได้จากผลรวมของปริมาณฝนทั้งหมดที่พืชสามารถนำมาใช้ได้ โดยไม่คิดฝนซึ่งตกลงมาเมื่อระดับน้ำในแปลงนาอยู่ที่ระดับสูงสุดที่ยอมให้

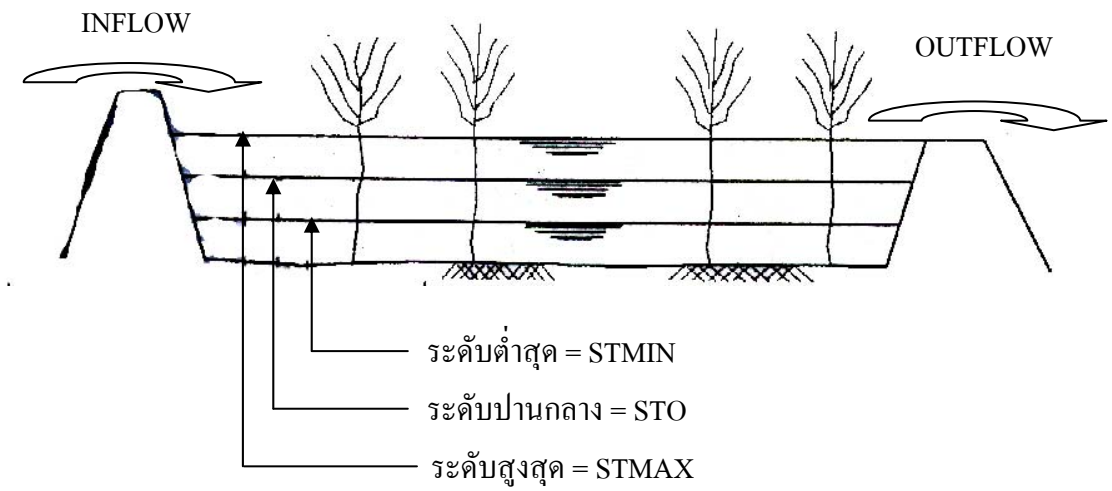
1. ปริมาณน้ำฝนใช้การสำหรับข้าว มีหลักในการคำนวณหลายวิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 Freeboard model เป็นวิธีการคำนวณฝนใช้การในระดับแปลงนาโดยการเลือกแปลงเพาะปลูกตัวอย่าง และทำการวัดระดับน้ำในแปลงนา การใช้น้ำและการรั่วซึมในแปลงนา การคำนวณความสูงของคันนาที่อยู่เหนือผิวน้ำในแปลงนาในวันที่ฝนตก เมื่อทราบจำนวนฝนตกก็สามารถคำนวณฝนใช้การได้

วิธีที่ 2 Drainage model ทำได้โดยการเลือกพื้นที่ตัวอย่างที่สามารถวัดน้ำที่ส่งให้และส่วนที่ไหลออกได้สะดวก ซึ่งน้ำส่วนที่ไหลออกนี้จะเกิดจากน้ำฝนและปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้ โดยที่ฝนใช้การคือ ผลต่างของปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่กับฝนที่ไหลออกจากพื้นที่ ถ้าตั้งสมมติฐานว่า อัตราส่วนน้ำฝนที่ระบายออกต่อน้ำฝนรวมกับน้ำชลประทานที่ระบายออกเท่ากับอัตราส่วนฝนที่ตกลงบนพื้นที่ต่อน้ำฝนรวมกับปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาณฝนใช้การได้

วิธีที่ 3 Simulation model เป็นวิธีการคำนวณหาปริมาณฝนใช้การ โดยพิจารณาจากคำจำกัดความที่ว่า ฝนใช้การคือ ปริมาณฝนที่ตกลงมาและขังอยู่ในระหว่างคันนาและยังไม่ได้ไหลล้นออกไป โดยมีข้อสมมติฐานว่า เมื่อระดับน้ำในแปลงนาถูกใช้ลดลงถึงระดับเก็บกักต่ำสุด จะส่งน้ำชลประทานให้ถึงระดับปานกลาง และมีฝนตกลงมาถ้าระดับน้ำในแปลงยังไม่ถึงระดับสูงสุด ปริมาณฝนใช้การก็คือ ระดับน้ำในแปลงนาที่เพิ่มขึ้น ถ้าระดับน้ำในแปลงนาเพิ่มขึ้นถึงระดับเก็บกักสูงสุด ฝนส่วนที่เหลือก็ถือว่าไหลล้นออกจากคันนาไม่ถือว่าเป็นฝนใช้การระดับน้ำในแปลงนาที่กล่าวมาได้แสดงไว้ในภาพที่ 11

Acres International Limited (1979) ได้ทำการศึกษาถึงปริมาณฝนใช้การของโครงการเจ้าพระยาด้วยวิธี Simulation model โดยอาศัยคำจำกัดความว่า ฝนใช้การคือ ฝนที่ตกลงมาอยู่ในระหว่างคันนาและไม่สามารถกลายเป็น Runoff ได้



ระดับต่ำสุด = ระดับที่ความลึกของน้ำต่ำสุดอาจใช้เพื่อกำจัดวัชพืช เริ่มให้น้ำชลประทานที่ความลึกนี้

ระดับปานกลาง = ระดับที่ความลึกหลังจากให้น้ำชลประทาน

ระดับสูงสุด = ระดับที่ความลึกของสูงสุดถ้ามีน้ำส่งมาเพิ่มจะกลายเป็น Runoff

ภาพที่ 11 ระดับน้ำในแปลงนาข้าวสำหรับคำนวณหาฝนใช้การ

กรมชลประทาน (2536) คำนวณฝนใช้การตามสมการดังนี้

$$St_{an} = St_{n-1} + R_n - am \qquad (39)$$

เมื่อ St_{an} = ระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกที่สิ้นสุดของวันที่ n

St_{n-1} = ระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกที่เริ่มต้นของวันที่ n

R_n = ฝนตกในวันที่ n เป็น มม.

am = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการเป็น มม./วัน ของเดือนที่มีวันที่ n

= (Kc x ETp + OR) / N

Kc = สัมประสิทธิ์พืชในเดือน m

ETp = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงในเดือนที่ m

OR = ความต้องการใช้น้ำของพืชอื่นๆ ในเดือนที่ m (โดยทั่วไปเป็นปริมาณน้ำเตรียมแปลง)

N = จำนวนวันในเดือนที่ m

ถ้า St_n > STMAX, ฝนใช้การสำหรับวัน (RE) หาจาก

RE = STMAX + am - St_{n-1} และ St_n ปรับเข้าสู่ STMAX

ถ้า St_n < STMAX, RE = R, และ St_n ยอมรับแต่ถ้า

St_n < STMIN, ซึ่งเป็นกรณี St_n ควรปรับให้เท่ากับ STO นั้น คือ มีการส่งน้ำชลประทานให้แปลงเพาะปลูก

ค่าดรรชนีที่ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนใช้การแสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าดรรชนีที่ใช้ในการคำนวณปริมาณฝนใช้การ

สถานที่	STMAX	STO	STMIN
ลุ่มน้ำลำพระเพลิง	120	100	50
ลุ่มน้ำอูน	135	90	45
ลุ่มน้ำเพชรบุรี	120	100	50
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	120	100	50
จังหวัดพิษณุโลก	135	90	45
จังหวัดเชียงใหม่	135	90	45
จังหวัดลำปาง	135	90	45
จังหวัดแพร่	135	90	45
จังหวัดชัยนาท	120	100	50
จังหวัดสุพรรณบุรี	120	100	50
ลุ่มน้ำห้วยผึ้งห้วยฝา	135	90	45
โครงการฯมูลบน	120	90	45

ที่มา: กรมชลประทาน (2539)

ลำจวน (2539) ได้คำนวณหาฝนใช้การของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน โดยใช้โปรแกรม WASMO Version 4.2 ได้ความสัมพันธ์ระหว่างฝนรายสัปดาห์ (R) และฝนใช้การรายสัปดาห์ (RE) ดังนี้

รูปแบบสมการ

ถ้า $R \leq R^*$; $RE = R$ (40)

$R > R^*$; $RE = A \times R + B$ (41)

เมื่อ R = ปริมาณฝนรายสัปดาห์ที่ตกจริง มีหน่วยเป็น มม.
R = ปริมาณฝนที่จุดเปลี่ยนโค้ง มีหน่วยเป็น มม.
A, B = ค่าความลาดชันของกราฟ และค่าคงที่ตามลำดับ

ซึ่งค่า R *, A และ B แสดงในตารางที่ 8

กรมชลประทาน (2540) ได้ศึกษาและคำนวณหาฝนใช้การในแปลงทดลองที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างฝนประจำสัปดาห์ และฝนใช้การประจำสัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 9

2. ปริมาณฝนใช้การสำหรับพืชไร่ หมายถึง ส่วนของฝนที่ซึมลงไปในดินและถูกเก็บกักไว้ในเขตรากพืชซึ่งจะสามารถนำไปใช้ได้ในภายหลัง การคาดคะเนฝนใช้การของพืชไร่ค่อนข้างยุ่งยากมากกว่าในกรณีที่เป็นข้าว ทั้งนี้เพราะตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการซึมแตกต่างกันได้มาก ความลึกของรากพืชแต่ละชนิดและในช่วงอายุพืชต่างๆ ไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลทำให้ความลึกของดินที่จะสามารถเก็บกักน้ำไว้ให้พืชได้ในช่วงอายุต่างๆ ไม่เท่ากัน (อภิชาติ และคณะ, 2524)

สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเรื่องนี้อย่างจริงจัง ค่าที่ใช้ในการออกแบบที่บริษัทที่ปรึกษาเลือกใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธี วิธีที่ใช้กันอยู่เป็นวิธีของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา ซึ่งได้จากการวิเคราะห์สถิติน้ำฝน และคำนวณสมดุลความชื้นในดิน โดยสมมติว่าในขณะที่ถึงเวลาที่ต้องให้น้ำแก่พืชนั้น ดินในเขตรากพืชสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ 75 มิลลิเมตร

ตารางที่ 8 ค่า R* , A และ B สำหรับสมการฝนใช้การเดือนต่างๆ ของข้าวและพืชไร่ ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน

เดือน	ฝนใช้การสำหรับข้าว			ฝนใช้การสำหรับพืชไร่		
	R*	A	B	R*	A	B
พฤศจิกายน-เมษายน	56	0.31	38.64	20	0.23	15.40
พฤษภาคม	50	0.35	32.50	19	0.11	16.91
มิถุนายน	60	0.34	39.60	20	0.06	18.80
กรกฎาคม	55	0.68	17.60	19	0.05	18.05
สิงหาคม	60	0.43	34.20	17	0.05	16.15
กันยายน	41	0.30	28.70	18	0.03	17.46
ตุลาคม	36	0.18	29.52	13	0.02	12.74

ที่มา: ลำจวน (2539)

ตารางที่ 9 แสดงผลการคำนวณความสัมพันธ์ของฝนประจำสัปดาห์ และฝนใช้การประจำสัปดาห์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ปี พ.ศ.	เดือน	ฝนประจำสัปดาห์	ฝนใช้การประจำสัปดาห์
2537	มิถุนายน	47.90	47.90
	กรกฎาคม	122.40	90.57
	สิงหาคม	57.90	57.90
	กันยายน	72.40	72.40
2538	กรกฎาคม	91.70	91.70
		101.60	89.29
	สิงหาคม	56.00	56.00
		75.30	46.04
	กันยายน	120.10	97.05
		116.70	89.14
		75.10	64.17
	ตุลาคม	47.10	39.01
		106.90	54.87

ที่มา: กรมชลประทาน (2540)

การจัดส่งน้ำชลประทาน

การจัดส่งน้ำชลประทาน มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดส่งน้ำให้พืชตามเวลาและปริมาณที่เพียงพอแก่ความต้องการของพืช ซึ่งจะต้องประกอบไปด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้ (วราวุธ, 2532)

1. การวางแผนการส่งน้ำ (Planning the operation) เพื่อเตรียมแผนการส่งน้ำตามความต้องการของพืชและสอดคล้องกับปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่

2. การปฏิบัติตามแผน (Implementation of the operation)

3. การติดตามผลการปฏิบัติงาน (Monitoring of the operation) เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้น้ำและจัดเตรียมรายงานในการจัดการส่งน้ำชลประทานนั้น สามารถวางแผนการส่งน้ำล่วงหน้าตามรายงานความก้าวหน้าที่ได้รับในแต่ละสัปดาห์ รายเดือน หรือตลอดฤดูกาลการเพาะปลูก

ฉลอง และ ชัยวัฒน์ (2527) กล่าวว่า จุดประสงค์ที่สำคัญในการวางแผนการส่งน้ำเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานส่งน้ำในสนามไปใช้เป็นแนวทางในการส่งน้ำและปรับปรุงซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทานให้สูงขึ้น ซึ่งมีความจำเป็นจะต้องทราบสิ่งต่อไปนี้ คือ

1. จำนวนพื้นที่ที่จะทำการเพาะปลูก
2. ปลูกพืชที่ใดบ้าง
3. ปริมาณน้ำที่ต้องการส่งเท่าที่จำเป็นเป็นเท่าใด
4. ทำอย่างไรจึงจะแพร่กระจายการส่งน้ำให้ทั่วถึง

ในการวางแผนการส่งน้ำนั้น จะเป็นการกล่าวถึง การคำนวณปริมาณน้ำที่พืชแต่ละชนิดต้องการใช้ ซึ่งเป็นการพยากรณ์ล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ วิธีการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการส่งให้พืชมี 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 คำนวณปริมาณน้ำโดยใช้ข้อมูลการเพาะปลูกในอดีตของโซนที่ต้องการคำนวณ ถ้ามีข้อมูลหลายๆ ปีก็ยิ่งดี แล้วหาแบบแผนการเพาะปลูกที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปีต่อไปเป็นรายสัปดาห์จากข้อมูลที่มีอยู่ นำแบบแผนนั้นมาคำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้พื้นที่เพาะปลูกเป็นรายสัปดาห์

เช่นเดียวกัน จากการคำนวณจะทำให้ทราบว่าในแต่ละช่วงเวลาจะต้องส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกปริมาณเท่าใด ปริมาณน้ำที่ได้รับการจัดสรรเพียงพอหรือไม่ วิธีนี้เหมาะสำหรับการกำหนดพื้นที่เพาะปลูกที่สามารถส่งน้ำให้ได้ก่อนเริ่มฤดูการเพาะปลูก

วิธีที่ 2 ใช้ข้อมูลในอดีตวางแผนกิจกรรมการเพาะปลูกแต่ละอย่าง เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 เริ่มต้นโดยใช้ข้อมูลเก่าคำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้ในสัปดาห์ถัดไป เมื่อสิ้นสุดสัปดาห์จึงนำข้อมูลจากสนามจริงๆ มาปรับแก้การส่งน้ำในสัปดาห์ต่อไป

การวางแผนการส่งน้ำ

การวางแผนการส่งน้ำ มี 2 ระดับ คือ

1. การวางแผนล่วงหน้าตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประมาณปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้แก่พื้นที่เพาะปลูกในแต่ละสัปดาห์ และเป็นแนวทางในการกำหนดพื้นที่เพาะปลูกสูงสุดที่สามารถส่งน้ำให้ได้ โดยใช้ข้อมูลในอดีต เช่น การตกกล้า การเตรียมแปลง การปักดำ การเตรียมแปลงสำหรับนาหว่าน และพืชชนิดอื่นๆ

2. การวางแผนส่งน้ำล่วงหน้า 1 สัปดาห์ เพื่อให้การส่งน้ำมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในแต่ละสัปดาห์ จึงต้องใช้ข้อมูลในสัปดาห์ที่ผ่านมา เพื่อคาดคะเนปริมาณน้ำในสัปดาห์ที่กำลังวางแผน และในระหว่างการเพาะปลูกแต่ละสัปดาห์ จะต้องใช้ข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงปรับแผนการส่งน้ำนี้ในสัปดาห์ต่อไปด้วย

การวางแผนการส่งน้ำ ประกอบด้วยกิจกรรมที่สำคัญ 5 ประการ คือ (วราวุธ, 2538 ก)

1. การเลือกวิธีส่งน้ำ
2. การประเมินน้ำต้นทุน
3. การประเมินความต้องการน้ำชลประทาน
4. การปรับความต้องการให้พอดีกับน้ำต้นทุน
5. การจัดทำแผนการส่งน้ำหรือตารางการส่งน้ำ

การวางแผนการปลูกพืช

การวางแผนการปลูกพืชให้เหมาะสม หรือความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ส่งนั้นจำเป็นต้องทราบความต้องการน้ำชลประทานของพืชแต่ละชนิด และต้องทราบปริมาณการใช้น้ำของพืชทุกๆ ระยะของการเจริญเติบโตตลอดฤดูการเพาะปลูก ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามสภาพของภูมิอากาศในแต่เดือน เช่น ฝน อุณหภูมิ แสงแดด ความชื้นในอากาศ และสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติอื่นๆ เป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาประกอบการวางแผนการปลูกพืชด้วย (ทวีวัช, 2518)

นิรันดร์ (2530) กล่าวว่า โครงการชลประทานทั้งที่สร้างเสร็จแล้วและกำลังก่อสร้าง มีความมุ่งหมายเพื่อที่จะส่งน้ำให้แก่พื้นที่ทำการเพาะปลูก เพราะฉะนั้นเพื่อให้วัตถุประสงค์ดังกล่าวบรรลุเป้าหมาย จึงต้องมีการวางแผนการปลูกพืชไว้เป็นแนวทางเพื่อให้เกษตรกรนำไปใช้ปฏิบัติ

ความมุ่งหมายของการวางแผนการเพาะปลูกพืชในเขตชลประทาน รวม 5 ข้อ (โอสถ, 2528) คือ

1. เพื่อพิจารณาแผนการปลูกพืชหมุนเวียนตลอดปีของโครงการชลประทานต่างๆ ให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ พื้นที่ และฤดูกาล

2. กำหนดพื้นที่เพาะปลูกให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำชลประทานที่สามารถส่งได้เต็มที่ทั้งฤดูแล้ง และฤดูฝน

3. กำหนดช่วงระยะเวลาการปลูกพืช และชนิดของพืชที่จะปลูกหมุนเวียนทั้งในฤดูฝน ฤดูแล้งเพื่อให้เข้ากับสภาพของดิน และภูมิอากาศ

4. เพื่อให้เกษตรกรในเขตชลประทานปลูกพืชตามกำหนด และใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกโดยพร้อมเพรียงกัน ซึ่งจะลดข้อขัดแย้งในกรณีความต้องการใช้น้ำไม่ตรงกัน

5. เพื่อใช้เป็นหลักในการพิจารณาการส่งน้ำ และประกอบกับพิจารณาระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำรุงรักษาอาคารชลประทาน

วิธีการส่งน้ำ

วิบูลย์ (2526) กล่าวว่า การส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกอาจทำได้หลายวิธี แต่โดยทั่วๆ ไป แล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

1. ส่งน้ำตลอดเวลา (Continuous flow method)
2. ส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ (Demand method)
3. ส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotation method)

การที่จะพิจารณาเลือกใช้วิธีการส่งน้ำวิธีใดวิธีหนึ่งนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณากำหนดไว้ในขั้นวางโครงการเพื่อที่จะได้ออกแบบระบบส่งน้ำได้ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะว่าระบบงานที่ใช้ส่งน้ำแต่ละประเภทจะมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้น เมื่อก่อสร้างระบบส่งน้ำไปแล้วจะเปลี่ยนวิธีการส่งน้ำย่อมจะยุ่งยากและไม่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนวิธีการส่งน้ำเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้าในสนาม เช่น เมื่อมีการขาดแคลนน้ำ อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนจากการส่งน้ำตลอดเวลามาเป็นแบบหมุนเวียน เป็นต้น

การส่งน้ำตลอดเวลา หมายถึง การส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกข้าวทั่วทุกแปลงด้วยอัตราคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ทั้งนี้จะหยุดส่งน้ำก็เฉพาะแต่ในช่วงที่มีฝนตกและหลังฝนตกในปริมาณที่มากพอสมควรเท่านั้น

การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ หมายถึง การส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตามเวลาและปริมาณที่ผู้ใช้น้ำขอ วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของผู้ใช้น้ำ เพราะเกษตรกรสามารถวางแผนการปลูกพืชและให้น้ำแก่พืชในเวลาและปริมาณที่พอเหมาะ ทั้งอัตราการส่งน้ำเกษตรกรก็สามารถเลือกให้พอเหมาะกับวิธีการให้น้ำที่ใช้อยู่ด้วย ดังนั้น ประสิทธิภาพการชลประทานที่ส่งน้ำโดยวิธีนี้จะดีที่สุด การที่จะใช้วิธีการส่งน้ำแบบนี้ได้เกษตรกรจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจในหลักการชลประทานเป็นอย่างดี หรือมีผู้ที่สามารถให้คำแนะนำแก่เกษตรกรได้อย่างถูกต้อง

การส่งน้ำแบบหมุนเวียน หมายถึง การส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตามจำนวนและระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยทำเป็นแผนการส่งน้ำไว้แล้วว่าแปลงใดจะได้รับน้ำเมื่อใด จำนวนใด เป็นระยะเวลานานเท่าใด และเมื่อใดจะได้รับน้ำสำหรับการส่งน้ำครั้งต่อไป

การสูญเสียน้ำชลประทานในระบบ

เจษฎา (2527) ได้กล่าวไว้ว่า การสูญเสียน้ำชลประทานเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ

1. การสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำ และระบบแจกจ่ายน้ำในระหว่างการส่งน้ำ จากแหล่งน้ำไปถึงแปลงเพาะปลูก เนื่องจากการระเหย การรั่วซึม และการรั่วไหลออกตามจุดอ่อนของระบบ

2. การสูญเสียน้ำในแปลงเพาะปลูกขณะเกษตรกรให้น้ำแก่พืช ในลักษณะของการรั่วซึมเลยเขตรากพืช และการไหลล้นท้ายแปลงเพาะปลูก (Runoff)

น้ำชลประทานที่สูญเสียไปในขบวนการต่างๆ นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พวกแรกเป็นการสูญเสียน้ำซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Losses) เช่น การระเหย การรั่วซึมในระบบส่งน้ำ และระบบกระจายน้ำ และการรั่วซึมทางลึก (สำหรับการปลูกข้าว) แต่อย่างไรก็ตาม การสูญเสียในส่วนนี้ จะทำให้ลดน้อยลงได้บ้างถ้าได้รับการออกแบบก่อสร้าง และบริหารงานส่งน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการสูญเสียน้ำพวกที่สอง ซึ่งได้แก่ การไหลซึมเลยเขตรากพืช (สำหรับพืชไร่) การไหลล้นท้ายแปลงเพาะปลูก ตลอดจนการใช้น้ำอย่างฟุ่มเฟือยเกินความต้องการของพืช ถือเป็นการสูญเสียน้ำที่พอจะหลีกเลี่ยงได้ (Waste) ถ้าหากบุคคลที่เกี่ยวข้องมีความรู้ความชำนาญพอ และรู้จักคุณค่าของน้ำชลประทาน

อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ

ประพันธ์ (2539 อ้างถึง วราวุธ, 2533) ซึ่งได้ไว้กล่าวว่า อัตราการสูญเสียน้ำในขณะส่งน้ำ (Conveyance losses) ที่เกิดจากการรั่วซึมของน้ำในคลองส่งน้ำ สามารถทำการตรวจวัดได้หลายวิธี และหนึ่งในหลายวิธีการนั้น คือ วิธี Inflow - Outflow ซึ่งได้แก่ การตรวจวัดปริมาณน้ำที่จุดต้นทางกับที่จุดปลายทาง

$$\text{อัตราการรั่วซึม} = \frac{\text{อัตราการไหลที่จุดต้นทาง} - \text{อัตราการไหลที่จุดปลายทาง}}{\text{ระยะทางระหว่างจุดต้นทางกับจุดปลายทาง}} \qquad (42)$$

อัตราการรั่วซึม จะมีหน่วยเป็นอัตราความสูญเสียของการส่งน้ำต่อหน่วยระยะทาง ซึ่งกรณีดังกล่าวนี้ สามารถตรวจวัดเป็นอัตราความสูญเสียของการส่งน้ำต่อระยะทาง 1,000 เมตร ได้ดังนี้ คือ

อัตราการสูญเสียของการส่งน้ำต่อระยะทาง 1,000 เมตร

$$= \frac{(\text{อัตราการไหลที่จุดต้นทาง-อัตราการไหลที่จุดปลายทาง}) \times 1{,}000}{\text{ระยะทาง (เมตร) ระหว่างจุดต้นทางกับจุดปลายทาง}} \qquad (43)$$

ปราโมทย์ (2534) กล่าวถึงประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองซอย และคลองส่งน้ำสายใหญ่ มีค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงตามปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากคลองส่งน้ำ ขึ้นอยู่กับลักษณะคลอง ความจุ และความยาวคลอง โดยปริมาณการสูญเสียน้ำต่อความยาวคลองหนึ่งกิโลเมตร โดยประมาณมีค่าสำหรับนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการส่งน้ำของคลองขนาดต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 10

การสูญเสียน้ำ ขณะส่งน้ำหาได้ 2 วิธี (Malano, 1995) คือ

1. วิธีเส้นขอบเปียก โดยคำนวณจากพื้นที่เส้นขอบเปียกของคลองส่งน้ำ และอัตราการรั่วซึมจากคลองส่งน้ำ เป็นปริมาตรน้ำที่สูญเสีย

2. วิธีเปอร์เซ็นต์ของการสูญเสีย โดยการคำนวณจากอัตราการสูญเสียเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อความยาวคลอง 1,000 เมตร

จากทั้งสองวิธีนี้ จะแบ่งคลองออกเป็นช่วงๆ ซึ่งแต่ละช่วงจะมีความแตกต่างของอัตราการรั่วซึม และเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย

ประพันธ์ (2539) ได้หาอัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำตามลักษณะของคลอง ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งมี 3 ลักษณะ คือ คลองสายใหญ่ดาดคอนกรีต คลองซอยดาดคอนกรีต และคลองซอยไม่ดาดคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลองส่งน้ำโดยประมาณ

ความจุคลองส่งน้ำ (ม.^{3}/วินาที)	ลักษณะคลอง	ปริมาณน้ำที่สูญเสียต่อความยาวคลอง หนึ่งกิโลเมตร-ม.^{3}/วินาที
20-100	ดาดคอนกรีต	0.60-0.10
	คลองดิน	0.12-0.20
20-5	ดาดคอนกรีต	0.04-0.06
	คลองดิน	0.08-0.10
5-1	ดาดคอนกรีต	0.03-0.04
	คลองดิน	0.06-0.08

ที่มา: ประพันธ์ (2539)

ตารางที่ 11 อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ ตามลักษณะคลองของโครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง

ลักษณะคลอง	ความจุสูงสุด (ม.^{3}/วินาที)	อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ (% ของความจุดสูงสุดต่อกิโลเมตร)
คลองสายใหญ่ดาดคอนกรีต	20.249	0.44
คลองซอยดาดคอนกรีต	5.287	0.91
คลองซอยไม่ดาดคอนกรีต	2.954	2.35

ที่มา: ประพันธ์ (2539)

การควบคุมการส่งน้ำตามแผนที่วางไว้

การควบคุมการส่งน้ำ หมายถึง การปิด - เปิด - ปรับ อาคารควบคุมน้ำในระบบส่งน้ำทั้งอาคารควบคุมระดับน้ำ (Water level regulater) และควบคุมปริมาณน้ำ (Discharge regulater) ซึ่งเป็นหน้าที่ของงานส่งน้ำและบำรุงรักษาต่างๆ ของโครงการ กิจกรรมในส่วนนี้ ประกอบด้วย

1. การตรวจสอบแผนการส่งน้ำว่ามีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากน้อยเท่าใด

2. ศึกษาการทำงานของกลไกของอาคารแต่ละตัวในการควบคุมน้ำ โดยจะต้องรู้ว่าควรปรับบานเท่าใด สำหรับปริมาณน้ำที่กำหนดให้ ควรต้องมีการสอบเทียบ (Calibrate) อาคารควบคุมน้ำที่สำคัญ

3. ศึกษาถึงกลไกการทำงานของอาคารที่สัมพันธ์กันตลอดทั้งคูและคลอง ต้องรู้ผลของการปรับบานด้านเหนือน้ำต่อระดับน้ำหน้าอาคารด้านท้ายน้ำ และผลของการปรับบานด้านท้ายน้ำต่อระดับน้ำท้ายอาคารด้านเหนือน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคลองซอย

4. วางแผนการปิด - เปิด - ปรับอาคารควบคุมน้ำต่างๆ เพื่อให้น้ำไหลไปตามแผนการส่งน้ำที่วางไว้

5. ประชุมซักซ้อมแผนปิด - เปิด - ปรับอาคารกับพนักงานส่งน้ำ

6. ประชาสัมพันธ์ หรือชี้แจงเกษตรกรให้ทราบตารางการส่งน้ำ

7. ติดตั้งเครื่องมือสำหรับช่วยตรวจวัดและควบคุมปริมาณน้ำ เช่น ไม้วัดระดับน้ำ (Staff gage) และติดตั้งอุปกรณ์เพื่อให้ทราบขนาดการเปิดบานชนิดที่เห็น หรือวัดได้ชัดเจน

การติดตามผลการส่งน้ำ

กิจกรรมที่สำคัญ ได้แก่

1. กำหนดจุดที่ต้องการตรวจวัดน้ำ

2. การติดตั้งอาคารวัดน้ำตรงจุดที่กำหนด หรือทำการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำเพื่อใช้อาคารดังกล่าวในการตรวจวัดปริมาณน้ำในคลอง

3. การตรวจวัดน้ำประจำวัน

4. การตรวจวัดปริมาณฝนตก

5. การติดตาม และตรวจสอบปัญหาการส่งน้ำในโครงการประจำวัน

6. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และการทำงานของระบบ

7. การวางแผนการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ และประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยอาศัยข้อมูลที่ตรวจวัดในสนาม และการประเมินผลการส่งน้ำเป็นบรรทัดฐานในการตัดสินใจ

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของอาคารส่งน้ำ

ฉลอง (2531) ได้แสดงวิธีการคำนวณหาค่าปริมาณน้ำไหลผ่านอาคารชลประทานไว้ 2 กรณี ตามลักษณะการไหลของน้ำผ่านอาคาร คือ

1. กรณีที่การไหลของน้ำผ่านอาคารเป็นแบบอิสระ (Free Flow) มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$Q = CLh\sqrt{2gy_1} \qquad (44)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคาร (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร

L = ความกว้างของช่องประตูระบาย (เมตร)

h = ความสูงของการเปิดบานประตูอาคาร (เมตร)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร / วินาที ^{2})

y_1 = ความลึกของน้ำเหนือระดับธรณีประตู (เมตร)

ในสูตรนี้ เมื่อทราบค่า Q ก็สามารถหาค่า C ของอาคารระบายน้ำได้

2. กรณีที่การไหลของน้ำผ่านอาคารเป็นแบบท่วมท้ายน้ำ (Submerged flow) มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$Q = CsLhs\sqrt{2gh} \tag{45}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคาร (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)

Cs = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร

L = ความกว้างของช่องประตูระบาย (เมตร)

hs = ผลต่างระดับน้ำด้านท้ายน้ำกับระดับธรณีประตู (เมตร)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 เมตร / วินาที ^{2})

h = ผลต่างของ head ทั้งหมด ระหว่างเหนือน้ำและท้ายน้ำซึ่งรวมถึง Approach velocity head ด้วย

เมื่อทราบค่า Q ก็จะสามารถหาค่า Cs ได้เช่นเดียวกัน

การสอบเทียบอาคาร

วัชระ (2537) ได้ทำการสอบเทียบอาคารควบคุมบังคับน้ำหลัก ส่งเข้าพื้นที่งานส่งน้ำต่างๆ ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จะหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร (Cs) ได้จากสมการการไหลแบบ Submerged Flow และเป็นกรณีที่เกิดขึ้นปกติในการส่งน้ำของโครงการฯจากการนำค่า hs / Go และ Cs ไป Plot ในกระดาษ log-log จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และจากการวิเคราะห์โดยใช้สมการ

$$Cs = K\left(\frac{hs}{Go}\right)^{n} \quad (46)$$

โดยให้ค่า hs / Go เป็นค่าในแกน x และค่า Cs เป็นค่าในแกน y สมการดังกล่าวอยู่ในรูปสมการยกกำลัง จากการวิเคราะห์จะได้ค่า K , n และ R^2 ของปตร.ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่า K , n และ R^2 ของ ปตร.ต่างๆ ของโครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง

อาคาร	ระดับธรณีประตู	L (m.)	K	n	R^2
ปตร.กลางคลอง 2L กม.22+700	+13.733	6.0	.05354	-0.6546	0.949
ปตร.ปากคลอง 5L-2L กม.0+020	+13.693	8.0	1.2554	-1.3851	0.973
ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม.9+813	+11.119	5.0	1.0107	-1.8059	0.985
ทรบ.กลางคลอง 5L-2L กม.26+401	+5.600	4.0	2.4753	-2.0705	0.989
ทรบ.ปากคลอง 3R-5L-2L กม.0+020	+5.609	6.0	1.0897	-1.1643	0.992

ที่มา: วัชระ (2537)

การประเมินผลการส่งน้ำ

Bos *et al.* (1993) กล่าวถึง ดรรชนีวัดผลการปฏิบัติงานด้านส่งน้ำ (Conveyance) ซึ่งดรรชนีวัดผลการปฏิบัติงานอันเป็นปฐมภูมิของการจัดการระบบชลประทาน การวัดผลนี้แสดงใน 2 ลักษณะ คือ

1. ผลการส่งน้ำ (Water delivery performance) เป็นการวัดผลอย่างเรียบง่ายที่สุดด้วยดรรชนีที่แสดงสัดส่วนเปรียบเทียบระหว่างอัตราการส่งน้ำ หรือปริมาณน้ำที่ใช้การจริง (Effective) ต่อเป้าหมายอัตราการส่งน้ำ หรือเป้าหมายปริมาณน้ำที่ต้องการส่ง

2. ประสิทธิภาพ (Efficiency) เป็นดรรชนีที่แสดงผลในรูปของประสิทธิภาพ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการตรวจวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่จ่ายให้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งมากกว่าที่จะเป็นการตรวจวัดอัตราการส่งน้ำในขณะใดขณะหนึ่ง

อัตราส่วนแสดงผลการส่งน้ำ

การหาอัตราส่วนแสดงผลการส่งน้ำเป็นการเปรียบเทียบระหว่างอัตราการส่งน้ำ หรือปริมาณน้ำใช้การ และเป้าหมายการส่งน้ำ หรือการส่งน้ำตามที่แนะนำ โดยจะบอกให้ทราบว่าน้ำที่ส่งรอบเวรต่างๆ และที่ส่งให้พื้นที่ต่างๆ ในโครงการฯพอเพียงตรงตามแผน หรือต่ำจากแผนที่วางไว้มากน้อยเพียงใด

$$\text{DPR} = \frac{Q_{eff}}{Q_{tar}} \tag{47}$$

เมื่อ DPR = อัตราส่วนแสดงผลการส่งน้ำ (Delivery performance ratio)

Q_{eff} = อัตราการส่งน้ำใช้การ (Effective discharge) , ม.^{3}/ วินาที

Q_{tar} = อัตราการส่งน้ำตามเป้าหมาย (Target discharge) , ม.^{3}/ วินาที

กรณีที่แสดงผลการส่งน้ำในช่วงเวลาที่ยาวนานกว่ากัน เช่น เดือน ควรใช้ปริมาตรน้ำแทนอัตราการส่งน้ำ ดังนี้

$$\text{DPR} = \frac{V_{eff}}{V_{tar}} \tag{48}$$

เมื่อ V_{eff} = ปริมาตรน้ำใช้การ (Effective volume) , ม.^{3}

V_{tar} = ปริมาตรน้ำตามเป้าหมาย (Target volume) , ม.^{3}

ค่าต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินผลเปรียบเทียบอัตราการส่งน้ำของระบบอธิบายได้จากปริมาตรของน้ำ 3 ประเภท คือ

1. Target volume (V_{tar}) คือ ปริมาตรน้ำตามเป้าหมาย หรือตามแนะนำ

2. Supplied volume (V_{sup}) คือ ปริมาตรน้ำที่ส่งจริง

3. Effective volume (V_{eff}) คือ ปริมาตรน้ำที่ใช้การ ซึ่งหมายถึง ส่วนของปริมาตรน้ำที่ส่งจริงแต่ไม่เกินเป้าหมายการส่งน้ำ หรือไม่เกินปริมาตรน้ำที่แนะนำ ส่วนที่เกินไม่นำมาคิด

ประพันธ์ (2539) ได้ประเมินผลการส่งน้ำด้วยอัตราส่วนแสดงผลการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ฤดูฝน ปี พ.ศ. 2537 เท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ และฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2538 เท่ากับ 91.21 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพการชลประทาน

ประสิทธิภาพการชลประทานมีความสำคัญมากตั้งแต่เริ่มต้นในการวางโครงการ การออกแบบ การส่งน้ำและบำรุงรักษา ตลอดจนการบริหารงานชลประทาน ประสิทธิภาพการชลประทานเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงสมรรถภาพของโครงการในด้านการส่งน้ำและบำรุงรักษา ตลอดจนความสามารถของเจ้าหน้าที่ และเกษตรกรผู้ใช้น้ำของโครงการนั้นๆ

ประสิทธิภาพการชลประทานเกี่ยวข้อง และแปรผันตามองค์ประกอบต่างๆ มากมาย เช่น ความสมบูรณ์ในการออกแบบระบบชลประทาน วิธีการส่งน้ำ ความสามารถในการบริหารงานของเจ้าหน้าที่ และระบบการนำน้ำกลับมาใช้อีก

คำว่าประสิทธิภาพการชลประทานมีความหมายครอบคลุมถึงสมรรถภาพการใช้น้ำทั้งโครงการตั้งแต่จุดเริ่มทำการส่งน้ำจนถึงแปลงเพาะปลูก และหมายถึง อัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชต่อปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช ดังสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการชลประทาน} = \frac{\text{ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช}}{\text{ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช}} \qquad (49)$$

โดยที่ ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (สำหรับข้าว)

$$= \text{ปริมาณการใช้น้ำของพืช} + \text{การรั่วซึม} - \text{ปริมาณฝนใช้การ} \qquad (50)$$

ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (สำหรับพืชไร่)

$$= \text{ปริมาณการใช้น้ำของพืช} - \text{ปริมาณฝนใช้การ} \qquad (51)$$

อภิชาติ และคณะ (2524) กล่าวว่า ในทางปฏิบัติมีวิธีการแยกคิดค่าประสิทธิภาพเป็นส่วนๆ เพื่อจะได้ทราบว่า ช่วงใด ตอนใด มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาประสิทธิภาพรวมของทั้งโครงการ โดยทั่วไปจะแยกพิจารณาประสิทธิภาพการชลประทานเป็น 3 ส่วน คือ

1. ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Water conveyance efficiency, Ec)
2. ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ (Field canal efficiency, Eb)
3. ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Water application efficiency, Ea)

เมื่อทราบประสิทธิภาพของแต่ละส่วนที่แยกออกมาแล้ว การหาประสิทธิภาพรวมของโครงการชลประทาน (Irrigation efficientcy, Ei) ทำได้โดยใช้สมการ

$$Ei = Ea * Eb * Ec \qquad (52)$$

ประพันธ์ (2539) ได้ประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำด้วยระบบจัดสรรน้ำ และติดตามผลของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2537 เท่ากับ 32.1 เปอร์เซ็นต์ และในฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2538 เท่ากับ 36.1 เปอร์เซ็นต์

ลำจวน (2539) ได้ประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำด้วยระบบจัดสรรน้ำ และติดตามผลของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน ในฤดูฝน ปี พ.ศ. 2538 เท่ากับ 39.6 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Ec) ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ (Eb) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ (Ed) และประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea) แสดงในตารางที่ 13

ประสิทธิภาพการชลประทานตามคำจำกัดความนี้ สามารถนำไปใช้เพื่อหาประสิทธิภาพการชลประทานของการปลูกข้าวในฤดูฝนในประเทศไทยที่ระดับต่างๆ ได้ เช่น ระดับคลองส่งน้ำสายใหญ่ และระดับคลองซอย เป็นต้น เมื่อต้องการหาประสิทธิภาพการชลประทานที่ระดับใด ปริมาณน้ำที่ส่งก็ใช้ที่ระดับนั้น ส่วนปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎี ได้แก่ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงเพาะปลูกเพื่อตกกล้า และปักดำ หรือถ้าเป็นนาหว่านก็เป็นปริมาณน้ำเตรียมแปลงเพื่อนาหว่าน เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีปริมาณน้ำที่ข้าวกล้าใช้ และปริมาณน้ำที่ข้าวใช้หลังจากหว่านแล้วแต่กรณี ซึ่งได้มีผู้ประเมินประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการต่างๆ ไว้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 13 และตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Ec) ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ (Eb) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ (Ed) และประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea) ขนาดพื้นที่ ลักษณะของดิน และวิธีการให้น้ำแบบต่างๆ

รายละเอียด	ประสิทธิภาพ
ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Conveyance effciency, Ec)	
ส่งน้ำแบบตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้อย	90 %
ส่งน้ำแบบหมุนเวียน โครงการขนาด 20,000 - 40,000 ไร่	80 %
พื้นที่หมุนเวียน 500 -2,000 ไร่	
ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในโครงการขนาดใหญ่มาก (มากกว่า 60,000 ไร่) หรือ	65-70 %
โครงการขนาดเล็ก (น้อยกว่า 6,000 ไร่)	
ประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ (Field canal effciency, Eb)	
สำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า 125 ไร่ : คลองดิน	80 %
สำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า 125 ไร่ : คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ	90 %
สำหรับพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 125 ไร่ : คลองดิน	70 %
สำหรับพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 125 ไร่ : คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ	80 %
ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ (Ed = Ec*Eb)	
สำหรับการส่งน้ำแบบหมุนเวียนที่มีการจัดการและการประสานงาน	
ก. ดี	65 %
ข. พอใช้	55 %
ค. เกือบพอใช้	40 %
ง. เลว	30 %
ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application effciency, Ea)	
ให้น้ำทางผิวดิน : ดินทราย	55 %
ดินร่วน	70 %
ดินเหนียว	60 %
แบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded border)	65-70 %
แบบท่วมเป็นอ่างหรือเป็นผืนราบ (Basin and level border)	60-80 %
แบบท่วมจากคูตามแนวเส้นของเนิน (Contour ditch)	50-55 %
แบบร่องคู	55-70 %
แบบร่องคูเล็ก	50-70 %

ตารางที่ 13 (ต่อ)

รายละเอียด	ประสิทธิภาพ
ให้น้ำใต้ผิวดิน	ไม่เกิน 80 %
ให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler)	
อากาศร้อนและแห้ง	60 %
อากาศอบอุ่นปานกลาง	70 %
อากาศชื้นและเย็น	80 %
การให้น้ำสำหรับนาข้าว	32 %

ที่มา: อภิชาติ และคณะ (2524)

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการชลประทานในประเทศไทย มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โครงการ	คลอง	ฤดู	ประสิทธิภาพของโครงการ
น้ำอูน	ฝั่งซ้าย	ฝน	48
	ฝั่งขวา	ฝน	41
เพชรบุรี	ฝั่งขวาสาย 1	ฝน	40
		แล้ง	35
	ฝั่งขวาสาย 2	ฝน	40
		แล้ง	35
	ฝั่งขวาสาย 3	ฝน	40
		แล้ง	40
	ฝั่งซ้าย	ฝน	45
		แล้ง	55
ลำพระเพลิง	-	ฝน	55
	-	แล้ง	50

ตารางที่ 14 (ต่อ)

โครงการ	คลอง	ฤดู	ประสิทธิภาพของโครงการ
มโนรมย์	-	ฝน (เตรียมแปลง)	48
		(หลังเตรียมแปลง)	50
	-	แล้ง (เตรียมแปลง)	40
		(หลังเตรียมแปลง)	43
อ่างเก็บน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	-	-	40
แม่กวง	-	-	30
สองพี่น้อง	-	แล้ง	36.1
มูลบน	-	ฝน	39.6

ที่มา: ลำจวน (2539); ประพันธ์ (2539)

ตารางที่ 15 ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการชลประทานในประเทศไทย จำแนกตามพืชที่ปลูก มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โครงการ	พืช	ฤดู	ประสิทธิภาพการชลประทาน
ป่าสักตอนบน	ข้าว	-	56
	พืชไร่	-	48
แก่งคอย-บ้านโมก	ข้าว	-	60
	พืชไร่	-	51
คลองกลาสี	ข้าว	ฝน	45
	ข้าว	แล้ง	55
	พืชไร่	-	55

ที่มา: วัชระ (2537)

ตารางที่ 16 ประสิทธิภาพการชลประทานที่เคยประเมินได้ สำหรับพืชชนิดต่างๆ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

พืช	ฤดู	ประสิทธิภาพการชลประทาน
ข้าว	ฝน - นาดำ	55
	- นาหว่าน	45
	แล้ง - นาหว่านและนาดำ	
	(ให้น้ำด้วยแรงดึงดูดของโลก)	55
	(ให้น้ำด้วยการสูบน้ำ)	70
พืชไร่ ผัก พืชยืนต้น	ฝน	50
	แล้ง	45
อ้อย	ฝน	50
	แล้ง	45
บ่อเลี้ยงปลา	ฝน	55
	แล้ง	50

ที่มา: Acres International Limited (1979)

ประสิทธิผล

ประสิทธิผล (Performance) ความหมายในด้านวิศวกรรม หมายถึง สมรรถนะ สมรรถภาพ หรือความสามารถในการทำงาน

ในการบริหารธุรกิจ หมายถึง การดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

จึงสรุปโดยรวมหมายถึง สมรรถนะในการทำงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ

การจะทำงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ ต้องมีการจัดการ (Management) เข้ามาเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เพื่อให้ได้ประสิทธิผลที่ดีสุดในการปฏิบัติงาน จะต้องมีวิธีการประเมินประสิทธิผลของโครงการ และหาวิธีการปรับปรุงประสิทธิผลของโครงการให้ดีขึ้นกว่าเดิมเสมอๆ

รูปแบบของประสิทธิผล

วราวุธ (2537) ได้แบ่งประสิทธิผล ออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. Output performance หมายถึง ผลการดำเนินงาน ซึ่งปกติใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อบอกถึงความอยู่รอดของโครงการ

2. Operational performance ใช้ตรวจสอบว่าแต่ละคนในระบบดำเนินงานตามที่ได้รับมอบหมายอย่างถูกต้องหรือไม่ และผลการดำเนินงานบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้สำหรับผู้นั้นหรือไม่

3. Management performance คือ การประเมินประสิทธิภาพในการดำเนินงานของผู้จัดการ ในการตั้งวัตถุประสงค์การจัดหาทรัพยากร การดำเนินงานตามโปรแกรมที่วางไว้ และการปรับปรุงวัตถุประสงค์ ตามผลการดำเนินการที่ทำไปแล้ว (Past performance)

องค์ประกอบสำคัญในการเพิ่มผลผลิต

วราวุธ (2537) กล่าวว่า มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการที่จำเป็นต้องรู้ และเข้าใจในการเพิ่มประสิทธิผลของทั้งระดับระบบชลประทาน และระดับประเทศ คือ

1. เค้าโครงของการประเมินประสิทธิผล (Performance framework)
2. ดรรชนีแสดงผลการปฏิบัติงาน (Performance indicators)
3. การจัดการใช้ประสิทธิผลที่ได้ (Performance - Oriented management)

เค้าโครงของการประเมินประสิทธิผล (Performance assessment framework) มีผู้เสนอแนะแนวทางการประเมินประสิทธิผลของระบบชลประทาน 2 แนวทาง คือ

1. ขอบข่ายระบบระดับชั้น (Nested system framework)
2. การประเมินและการวินิจฉัยประสิทธิผล (Performance assessment and diagnosis)

ถึงแม้ว่า 2 แนวทางจะถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับบุคคลเป้าหมายที่แตกต่างกัน แต่ก็เป็นแนวทางที่ส่งเสริมซึ่งกันและกัน

1. ขอบข่ายระบบระดับชั้น (Nested system framework)

จุดมุ่งหมายของแนวทางนี้ คือ เพื่อแยกแยะกรอบในการประเมินประสิทธิผลของระบบชลประทานออกเป็น 5 ระดับ หรือ 5 ระบบ ซึ่งเมื่อพิจารณาว่า ถ้าจุดยืนเปลี่ยนจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง เช่น เปลี่ยนจากเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระดับคลองเป็นเจ้าหน้าที่ของสำนักงานชลประทาน วัตถุประสงค์ในการทำงานของบุคคลผู้นั้นย่อมเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สิ่งสำคัญที่ต้องเน้นตามแนวคิดของ Nested system คือ ผลการดำเนินงานหรือผลผลิตจากระบบหนึ่ง จะเป็นปัจจัยการดำเนินงาน หรือปัจจัยการผลิตในระดับที่สูงขึ้นไป หรืออาจจะกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า ประสิทธิผล ที่ระดับต่ำกว่าจะมีผลต่อประสิทธิผลที่ระดับสูงกว่า

จะเห็นได้ว่าความเข้าใจเกี่ยวกับ Nested system framework ช่วยให้เกิดความเข้าใจในขบวนการการประเมิน และการวินิจฉัยประสิทธิผล (Performance assessment and diagnosis)

2. การประเมินและการวินิจฉัยประสิทธิผล (Performance assessment and diagnosis)

แนวความคิดนี้ มองที่สภาพความเป็นจริงแล้วประเมินว่า ประสิทธิผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ จุดมุ่งหมายของวิธีนี้ เพื่อช่วยผู้จัดการทั้งระดับระบบชลประทานและระดับเกษตรชลประทานในการพัฒนาวิธีการวินิจฉัย (Diagnosis) ประสิทธิผลต่อไป

การประเมินและการวินิจฉัยประสิทธิผล เป็นกระบวนการต่อเนื่องในการประเมินแผนทบทวน (Assessment and review) ซึ่งผลลัพธ์จากช่วงเวลาหนึ่งจะส่งผลต่อช่วงเวลาถัดไป ช่วงเวลาในการประเมินวินิจฉัยอาจแตกต่างกัน ดังนี้

- รายวัน (Daily)
- รอบเวรการส่งน้ำ (Irrigation rotation)
- ฤดูกาล (Season)
- แผน 5 ปี (Five year plan)

ตามแนวคิดของการประเมินและการวินิจฉัยประสิทธิผล ประสิทธิผลสามารถแบ่งแยกออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1 Operation performance ส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานประจำวันของระบบชลประทาน ซึ่งเป้าหมายของการดำเนินงานได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า ในส่วนนี้จึงเกี่ยวกับการดำเนินงานตามแผน การติดตามผล และควบคุมการดำเนินงานให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

2.2 Strategic performance ส่วนนี้จะเกี่ยวกับการประเมินผลว่า การดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้หรือไม่ มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ แล้วควรกำหนดว่าควรดำเนินการต่อไปในอนาคตอย่างไร

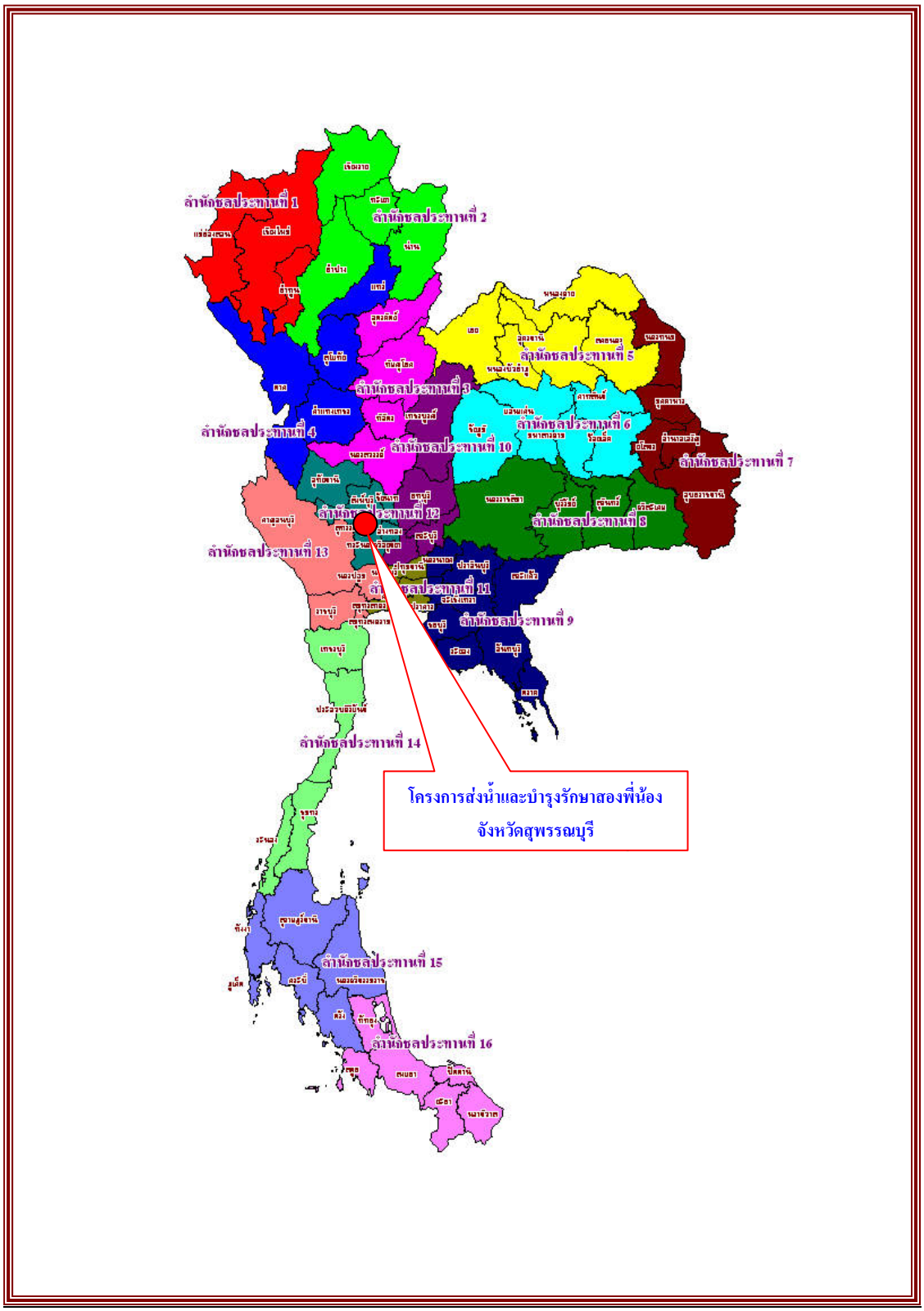
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง เป็นโครงการหนึ่งในพื้นที่การก่อสร้างระบบชลประทานภายใต้โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ ซึ่งดำเนินการก่อสร้าง ด้านฝั่งซ้ายของแม่น้ำแม่กลอง โดยแบ่งออกเป็นสองระยะ เรียกว่า มาลัยแมนระยะที่ 1 และระยะที่ 2 เริ่มดำเนินการโครงการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2525 และเสร็จสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2538 โดยได้รับน้ำจากการบังคับและผันน้ำที่ประตูระบายน้ำเขื่อนแม่กลอง ซึ่งเป็นเขื่อนทดและยกระดับน้ำปิดกั้นแม่น้ำแม่กลอง ที่ตำบลม่วงชุม อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เข้าคลองสายใหญ่ 2 ซ้าย ซึ่งสามารถส่งน้ำครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 1 ล้านไร่ ภายใต้โครงการที่รับผิดชอบ 3 โครงการ ได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ในส่วนความรับผิดชอบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องประมาณ 380,000 ไร่

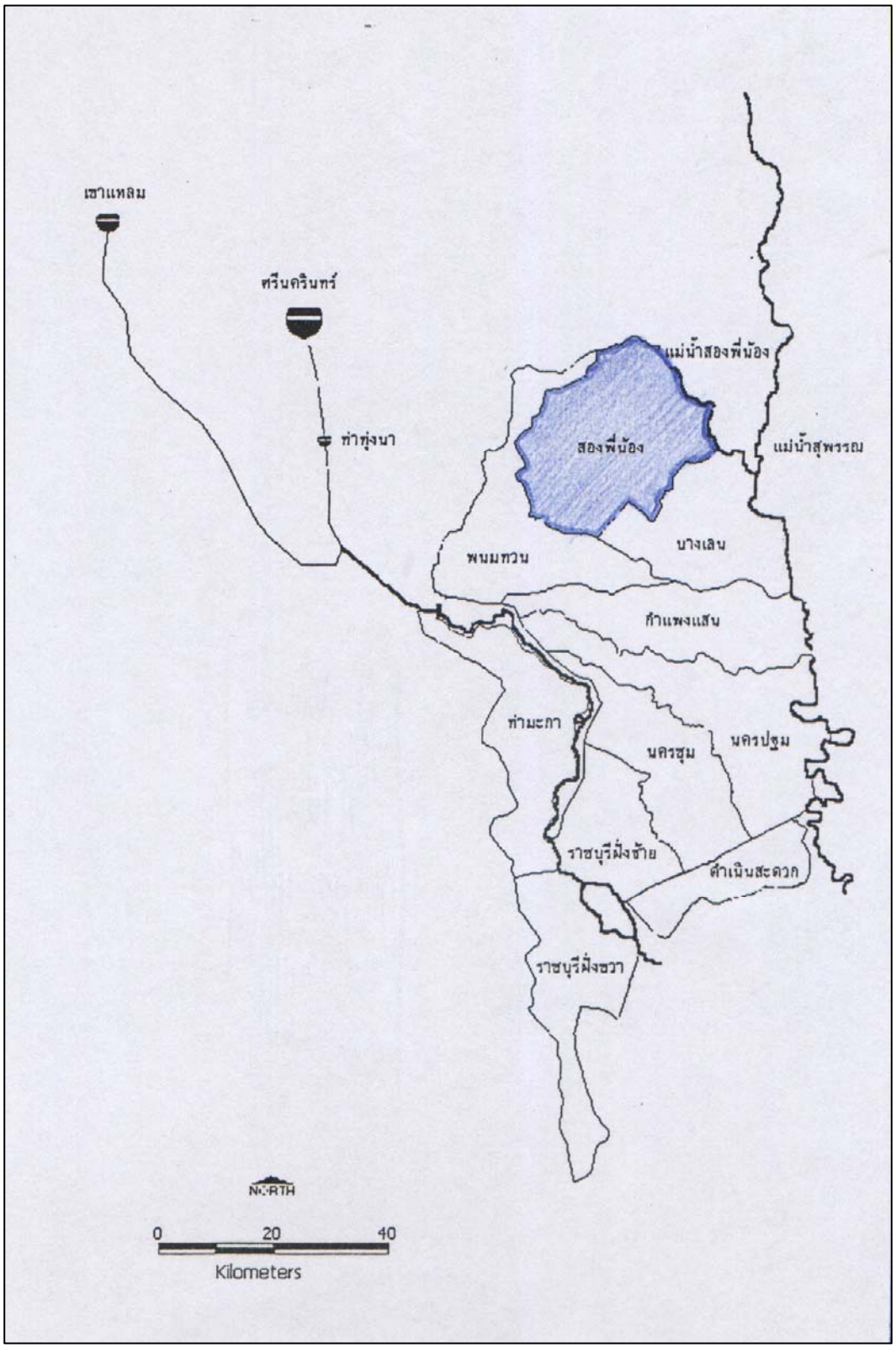
ที่ตั้งและอาณาเขต

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ตั้งอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 14.07 ถึง 14.40 องศาเหนือ และเส้นลองติจุดที่ 99.77 ถึง 100.05 องศาตะวันออก ที่ทำการของโครงการตั้งอยู่ที่ 223 หมู่ที่ 10 ตำบลบ่อสุพรรณ อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 100 กิโลเมตร และห่างจากเขื่อนแม่กลองประมาณ 30 กิโลเมตร โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง มีพื้นที่โครงการทั้งหมด 380,000 ไร่ เป็นพื้นที่ชลประทาน 307,000 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ในเขตอำเภอสองพี่น้อง อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี และอำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรีบางส่วน รวมทั้งสิ้น 3 อำเภอ โดยมีอาณาเขตติดต่อ ดังนี้

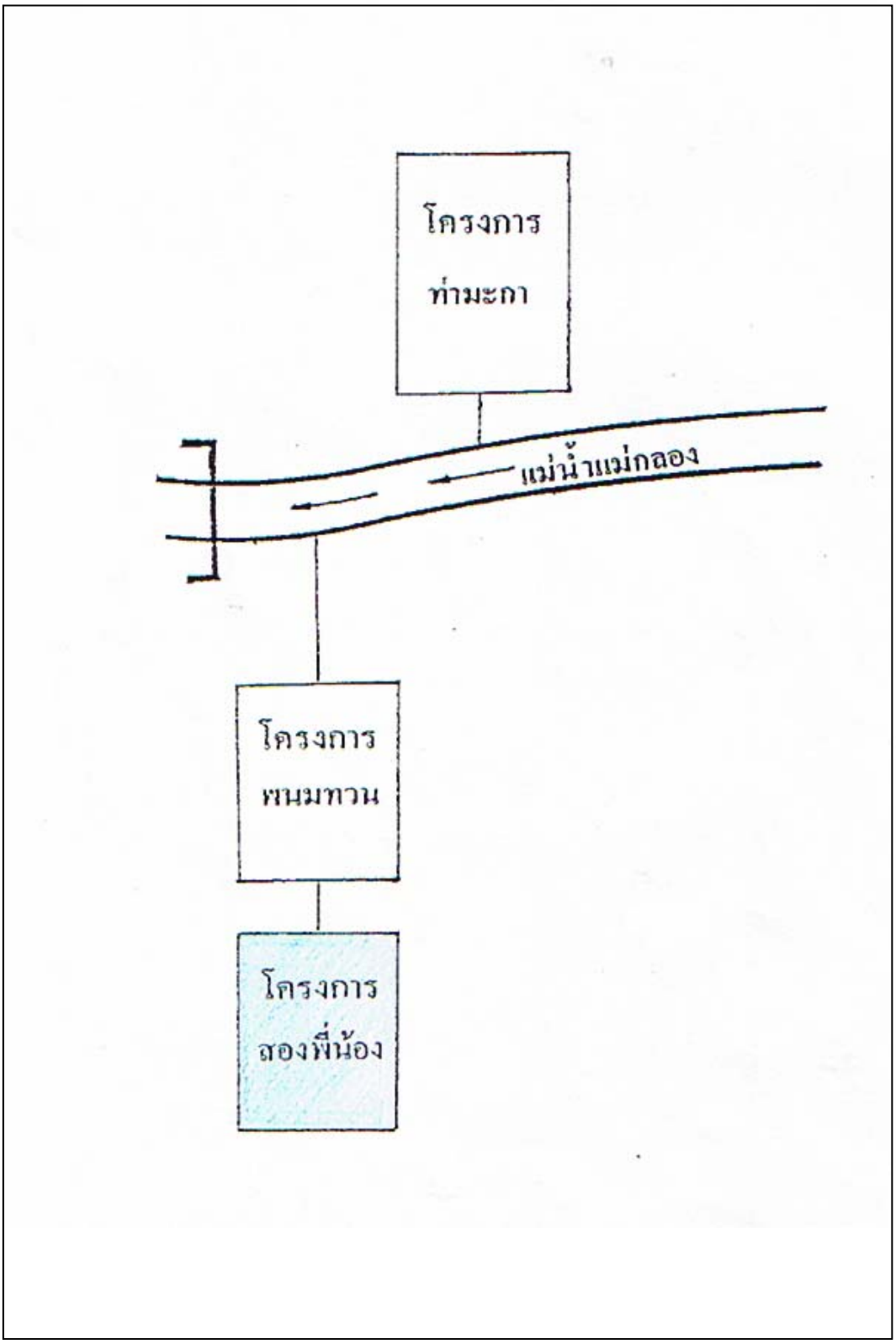
ทิศเหนือ	ติดต่อกับ	โครงการส่งน้ำฯ ดอนเจดีย์ และโครงการส่งน้ำฯ โพธิ์พระยา
ทิศใต้	ติดต่อกับ	โครงการส่งน้ำฯ พนมทวน และโครงการส่งน้ำฯบางเลน
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	โครงการส่งน้ำฯ บางเลน
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	โครงการส่งน้ำฯ พนมทวน



ภาพที่ 12 แผนที่ประเทศไทย แสดงที่ตั้งโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี



ภาพที่ 13 แสดงที่ตั้งและอาณาเขตของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง



ภาพที่ 14 แสดงแผนผังระบบการรับน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

สภาพภูมิประเทศ

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง มีลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบและที่ราบลุ่ม ทิศตะวันตกจะมีระดับสูง +10.000 ม.รทก. แล้วพื้นที่ค่อยๆ ลาดเอียงไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งอยู่ติดกับแม่น้ำสองพี่น้อง พื้นที่บริเวณนี้จะเกิดน้ำท่วมขังเมื่อถึงฤดูน้ำหลาก ส่วนใหญ่จะมีระดับต่ำกว่า +2.000 ม.รทก.

สภาพภูมิอากาศและฤดูกาล

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง มีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน ซึ่งมี 3 ฤดูกาล คือ

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26 องศาเซลเซียส

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 32 องศาเซลเซียส

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 29 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉลี่ยทั้งปี ประมาณ 69%

สภาพฝน

ฝนที่ตกในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และอิทธิพลของพายุหมุนในทะเลจีนใต้ ซึ่งพัดเข้ามาทางทิศตะวันออกของประเทศ ฝนจะเริ่มตกประมาณกลางเดือนเมษายน จะตกมากในเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม และจะหมดฝนประมาณกลางเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนโดยเฉลี่ยในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ประมาณ 1,050 มิลลิเมตรต่อปี

ลักษณะดินและการใช้ที่ดิน

ดินในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จำแนกตามความเหมาะสมในการปลูกพืชได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. ดินที่มีความเหมาะสมดีสำหรับการปลูกข้าว ลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียว (Clay) หรือดินร่วนปนดินเหนียว (Clay loam) ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง ส่วนใหญ่จะเป็นเขตพื้นที่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือในบริเวณทุ่งราบ เหมาะสำหรับการทำนาทั้งในฤดูฝน และฤดูแล้ง

2. ดินที่มีความเหมาะสมดีสำหรับการปลูกพืชไร่-ไม้ผล ลักษณะเนื้อดินเป็นดินประเภทตะกอนทราย จนถึงดินร่วนปนทราย (Sandy loam) มีการระบายน้ำได้ดี ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ส่วนใหญ่จะเป็นเขตพื้นที่ทางทิศตะวันออก ทิศใต้ และในพื้นที่ตอนกลางของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งพื้นที่ในบริเวณนี้จะทำการปลูกอ้อย และพืชไร่ต่างๆ ได้ดี

การใช้ที่ดินสำหรับการเพาะปลูกของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องในปัจจุบัน แยกเป็นพื้นที่ทำนา ประมาณ 107,500 ไร่ หรือประมาณ 35 % ของพื้นที่ทั้งหมด ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 750 กิโลกรัมต่อไร่ พื้นที่ปลูกอ้อย ประมาณ 186,000 ไร่ หรือประมาณ 60% ของพื้นที่ทั้งหมด ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 17 ตันต่อไร่ และพื้นที่ปลูกพืชผัก ผลไม้ชนิดอื่นๆ อีกประมาณ 13,500 ไร่ หรือประมาณ 5% ของพื้นที่ทั้งหมด

อาชีพของประชากรส่วนใหญ่ ประกอบอาชีพทางการเกษตร ทำนา ปลูกอ้อย พืชไร่ พืชผัก และเลี้ยงสัตว์ นอกจากนี้ก็มีอาชีพรับจ้างทั่วไป รายได้ของประชากรขึ้นอยู่กับภาวะผลผลิต และราคาสินค้าด้านการเกษตรกรรมเป็นสำคัญ

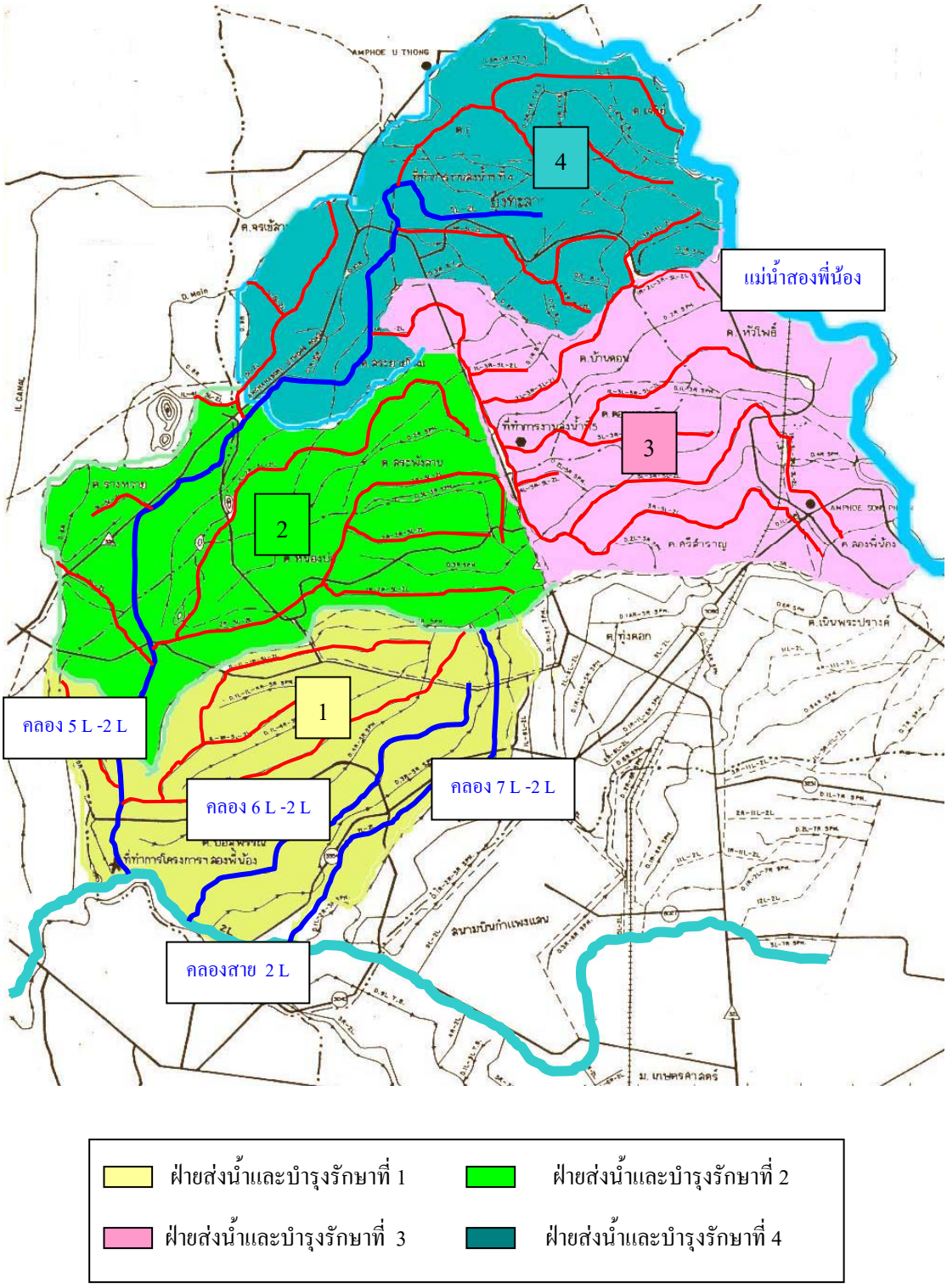
ระบบการบริหารงานของโครงการฯ

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ขึ้นตรงกับสำนักชลประทานที่ 13 จังหวัดกาญจนบุรี มีระบบการบริหารโครงการฯ โดยมีผู้อำนวยการโครงการฯ (ผอ.คบ.) เป็นผู้ควบคุมการปฏิบัติงาน ซึ่งการปฏิบัติงานด้านส่งน้ำและบำรุงรักษาของโครงการฯ สามารถแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบออกเป็น 4 ฝ่ายส่งน้ำ ได้แก่ ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยมีหัวหน้า

ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา (ฝสบ.คบ.) เป็นผู้ควบคุมการปฏิบัติงาน และสามารถแสดงรายละเอียดของพื้นที่ในความรับผิดชอบได้ ดังนี้

1. ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 มีพื้นที่ทั้งหมด 83,000 ไร่ และมีพื้นที่ชลประทาน 77,950 ไร่
2. ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2 มีพื้นที่ทั้งหมด 101,500 ไร่ และมีพื้นที่ชลประทาน 92,000 ไร่
3. ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 3 มีพื้นที่ทั้งหมด 103,500 ไร่ และมีพื้นที่ชลประทาน 71,500 ไร่
4. ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4 มีพื้นที่ทั้งหมด 92,000 ไร่ และมีพื้นที่ชลประทาน 65,550 ไ ร่

รวมมีพื้นที่โครงการฯทั้งหมด 380,000 ไร่ และมีพื้นที่ชลประทานรวมทั้งหมด 307,000 ไร่



ภาพที่ 15 แสดงแนวคลองส่งน้ำ และพื้นที่ความรับผิดชอบของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1 ถึง 4 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ทั้งนี้ในแต่ละฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา จะแบ่งเขตพื้นที่ความรับผิดชอบออกเป็นโซนการส่งน้ำ โซนละประมาณ 5,000 ไร่ โดยมีโซนแมนทำหน้าที่ดูแลและรับผิดชอบในแต่โซน โซนแมนจะเป็นผู้ติดต่อประสานงานโดยตรงกับผู้ใช้น้ำ

การควบคุมระบบส่งน้ำหลักเป็นหน้าที่ของโครงการฯ ส่วนระบบชลประทานในแปลงนาจะรับผิดชอบโดยกลุ่มผู้ใช้น้ำ ซึ่งในเขตพื้นที่โครงการฯสองพี่น้อง มีกลุ่มผู้ใช้น้ำทั้งหมด 852 กลุ่ม จัดตั้งแล้ว 721 กลุ่ม และอยู่ในระหว่างการดำเนินการจัดตั้งอีก 131 กลุ่ม

พื้นที่โครงการและพื้นที่ชลประทาน

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง มีพื้นที่โครงการฯทั้งหมด 380,000 ไร่ เป็นพื้นที่ชลประทาน (Irrigable area) 307,000 ไร่ ประมาณ 80.78 % ของพื้นที่โครงการ สำหรับระบบชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องในปัจจุบัน มีรายละเอียด ดังนี้

1. คลองส่งน้ำสายใหญ่และสายซอย จำนวน 31 สาย รวมความยาวทั้งสิ้น 336 กิโลเมตร

2. คลองระบายน้ำสายใหญ่และสายซอย จำนวน 30 สาย รวมความยาวทั้งสิ้น 268 กิโลเมตร

ประเภทของการชลประทาน

ระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ได้รับน้ำจากเขื่อนแม่กลอง โดยรับน้ำต่อจากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน ผ่านคลองส่งน้ำสายใหญ่สาย 2 ซ้าย ที่ กม. 22+700 ส่งไปตามคลองซอยสายต่างๆ วิธีการส่งน้ำให้พื้นที่ส่วนใหญ่จะส่งน้ำแบบตลอดเวลา 24 ชั่วโมงและเกือบทั้งปี การนำน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกใช้โดยวิธีแรงดึงดูดของโลก (Gravity) โดยส่งผ่านจากคลองสายซอย ผ่านคูส่งน้ำเข้ามาสู่แปลงเพาะปลูก

แหล่งน้ำต้นทุน

ปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ได้มาจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ เขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนท่าทุ่งนา ระบายน้ำลงมาตามลำน้ำแควน้อยและแควใหญ่ ตามลำดับ

และมาบรรจบรวมกันเป็นแม่น้ำแม่กลอง โดยมีประตูระบายน้ำเขื่อนแม่กลอง อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งทำหน้าที่บังคับน้ำ และผันน้ำเข้าสู่คลองส่งน้ำสายใหญ่สาย 2 ซ้าย ต่อไป

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณน้ำเก็บกักของเขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนศรีนครินทร์

อ่างเก็บน้ำ	ปริมาณน้ำเก็บกัก (ล้านลูกบาศก์เมตร)	ปริมาณน้ำใช้การ (ล้านลูกบาศก์เมตร)	ปริมาณน้ำไหลลงอ่าง (ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)
เขื่อนวชิราลงกรณ์	8,860	6,210	4,776
เขื่อนศรีนครินทร์	17,745	10,581	4,289

ลักษณะลำน้ำ

ลำน้ำส่วนใหญ่เป็นลำน้ำที่ไหลผ่านทุ่งราบ คดเคี้ยวไปมาตามความสูงต่ำของสภาพพื้นที่ มีความลาดชันน้อย ความลึกไม่มาก สันตลิ่งไม่สูงจากพื้นที่มากนัก ในช่วงเวลาใดที่มีปริมาณฝนมาก น้ำจะไหลล้นฝั่งเข้าทุ่งราบทั้งสอง ปัจจุบันนี้ได้ถูกดัดแปลงเป็นคลองระบายน้ำของโครงการฯ และทำหน้าที่ระบายน้ำจากอำเภอพนมทวน อำเภออู่ทอง อำเภอสองพี่น้อง ลงสู่แม่น้ำสองพี่น้อง

ด้านสังคมและเศรษฐกิจ

พื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอ ใน 2 จังหวัด อำเภอพนมพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอสองพี่น้อง และอำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ประชากรทั้งหมด 121,000 คน อาชีพหลัก ได้แก่ การปลูกอ้อย ข้าว และอื่นๆ เพราะฉะนั้นผลผลิตรวมจะขึ้นอยู่กับราคาอ้อย และข้าวเป็นหลัก

จำนวนครัวเรือนในการถือครองที่ดิน อ้อย 5,212 ครัวเรือน ข้าว 6,578 ครัวเรือน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเกษตรกรที่ปลูกอ้อยจะถือครองที่ดินต่อครัวเรือนมากกว่าเกษตรกรที่ปลูกข้าว อัตราส่วนครัวเรือนที่ปลูกอ้อยต่อครัวเรือนที่ปลูกข้าวเท่ากับ 1:1.3 และในปี พ.ศ. 2544 ข้าวราคา 4.80 บาทต่อกิโลกรัม อ้อยราคา 600 บาทต่อตัน ปลาช่อนราคา 60 บาทต่อกิโลกรัม

อุปกรณ์และวิธีการ

การทำวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย โดยการประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้พัฒนาแนวทางที่เหมาะสมในการจัดสรรน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำ สำหรับปัญหาการจัดสรรน้ำในระบบชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

การศึกษาหาแนวทางในการจัดสรรน้ำในเขตพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุด ได้ใช้วิธีการโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic model) มาประยุกต์ใช้ โดยได้นำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำมาทำการวิเคราะห์ เพื่อใช้กำหนดในการวางแผนการจัดสรรน้ำที่เหมาะสมต่อไป

อุปกรณ์

1. ข้อมูลการใช้น้ำและพื้นที่ชลประทาน ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง
2. ข้อมูลปริมาณฝน ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง
3. แผนที่แสดงคลองส่งน้ำ และความจุคลองส่งน้ำสายต่างๆ ของโครงการฯ
4. แบบจำลอง WASAM Version 3.01
5. แบบจำลอง GAWA - 2004 (Bhaktikul and Wardlaw, 2004)
6. Microsoft visual c^{++} เป็น Compiler
7. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมอุปกรณ์

วิธีการ

1. ศึกษาการเชื่อมต่อของคลองส่งน้ำสายต่างๆ ของโครงการฯ (Schematic diagram)
2. ศึกษาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของแต่ละช่วงคลองส่งน้ำในช่วงฤดูแล้ง
3. ความสามารถในการจัดสรรน้ำของระบบส่งน้ำในเขตพื้นที่โครงการฯ
4. คำนวณความต้องการน้ำชลประทานทางทฤษฎี โดยใช้แบบจำลอง WASAM Version 3.01
5. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง GAWA-2004 ในการคำนวณเพื่อการจัดสรรน้ำของโครงการฯ
6. แสดงผล และเปรียบเทียบผล

การคำนวณปริมาณการใช้น้ำชลประทาน
ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องโดย WASAM

การวิเคราะห์ระบบการบริหารและการจัดการน้ำในโครงการฯ

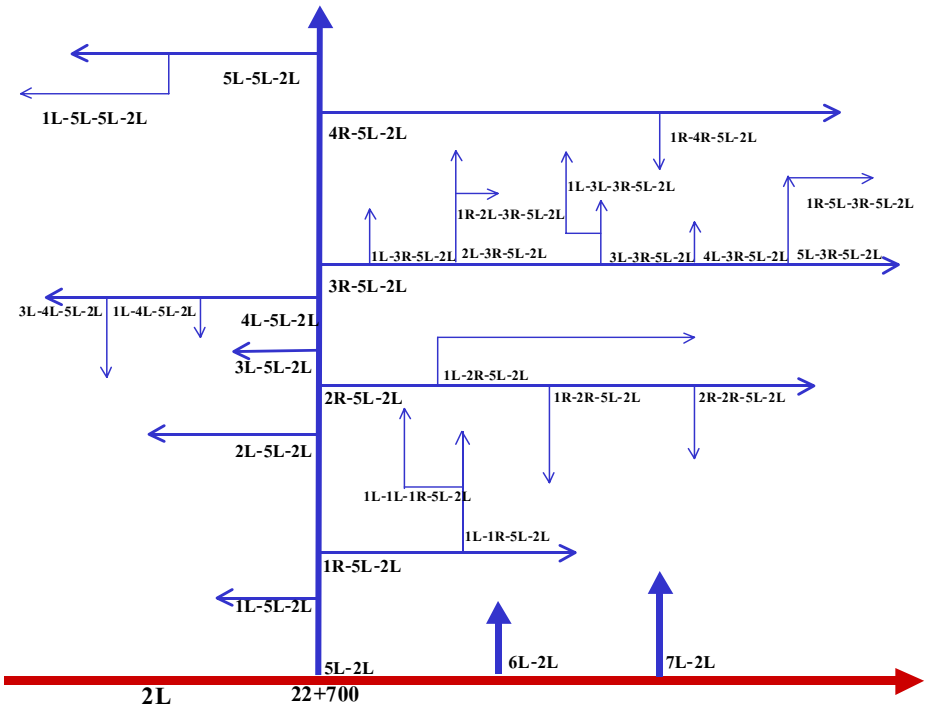
สภาพทั่วไปของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง มีระบบการส่งน้ำของโครงการเป็นระบบคลองเปิด ซึ่งประกอบด้วย คลองส่งน้ำสายใหญ่ สายซอย สายแยกซอย รวมทั้งหมด 32 คลอง พื้นที่ในเขตโครงการมีความต้องการในการใช้น้ำในการปลูกพืชและอื่นๆ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่มีผลต่อการจัดสรรน้ำของโครงการ โดยข้อมูลที่จะทำการเก็บข้อมูล ได้แก่ กิจกรรมการเพาะปลูกพืชในแต่ละสัปดาห์ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันของสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ ที่กระจายอยู่ในเขตโครงการฯ จำนวน 5 สถานี เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณฝนใช้การ และจะต้องดำเนินการสร้าง Schematic diagram แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลองส่งน้ำ อาคารบังคับน้ำต่างๆ พื้นที่เพาะปลูก และการจัดสรรน้ำในโครงการฯ

การแบ่งพื้นที่การรับน้ำชลประทานของโครงการฯ

ทำการแบ่งพื้นที่การรับน้ำชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ตามจำนวนของคลองส่งน้ำ รวม 32 สาย โดยสามารถทำการส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำสายต่างๆ ครอบคลุมพื้นที่ชลประทานของโครงการฯ

การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานรายสัปดาห์

การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานในแต่ละสัปดาห์ ก็เพื่อหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิของพืชแต่ละชนิดในแต่ละคลองส่งน้ำ และปริมาณน้ำที่ผ่านอาคารบังคับน้ำ ซึ่งเป็นจุดควบคุมปริมาณน้ำ โดยได้ทำการหาปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ตามทฤษฎี สำหรับการปลูกข้าวและพืชชนิดอื่นๆ โดยการใช้แบบจำลอง WASAM Version 3.01 ในคำนวณหาความต้องการใช้น้ำชลประทานเป็นรายสัปดาห์ แล้วจึงนำข้อมูลความต้องการใช้น้ำชลประทานเป็นรายสัปดาห์ และข้อมูลที่ต้องการในด้านต่างๆ ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง WASAM Version 3.01 ไปใช้ในการคำนวณกับแบบจำลอง GAWA - 2004 เพื่อคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานเป็นรายสัปดาห์ และจะได้นำไปใช้ในการช่วยตัดสินใจ ในการจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องต่อไป



ภาพที่ 16 แผนภูมิแสดงคลองส่งน้ำในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ตารางที่ 18 รายละเอียดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2546 โครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง

ชื่อคลอง	Qmax ม.^{3}/วินาที	ความยาว (กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ประเภทเพาะปลูก (ไร่)								หมายเหตุ
				ข้าว	อ้อย	พืชไร่	พืชผัก	ผลไม้	ไม้ยืนต้น	บ่อปลา	บ่อกุ้ง	
<u>ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1</u>												
2L	82.983	8.375	5,209	75	4,827	120	100	12	0	0	0	0
5L-2L	45.731	3.650	4,118	45	3,628	30	110	165	70	25	0	0
1L-5L-2L	0.642	5.665	3,690	200	1,570	30	20	20	0	25	100	0
1R-5L-2L	4.911	14.972	16,631	325	9,150	85	100	50	0	50	0	0
1L-1R-5L-2L	2.328	7.870	11,818	0	4,200	20	20	40	0	0	0	0
1L-1L-1R-5L-2L	1.453	11.091	7,228	50	4,125	25	25	30	0	15	0	45
6L-2L	3.162	15.789	16,290	500	8,400	480	20	50	250	20	20	0
7L-2L	2.105	15.892	12,966	400	6,780	200	50	125	25	45	35	0
<u>รวมทั้งหมดในฝ่ายฯ</u>		83.304	77,950	1,595	42,680	990	445	492	345	180	155	45
<u>ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2</u>												
5L-2L	46.731	16.650	24,600	320	22,866	448	80	202	110	12	157	85
2R-5L-2L	9.036	18.467	20,700	125	11,600	300	200	165	60	65	85	0
1L-2R-5L-2L	3.314	18.320	20,000	1,125	9,745	385	215	225	0	35	15	0
1R-2R-5L-2L	1.598	7.156	8,800	25	5,020	35	55	95	30	15	35	0
2R-2R-5L-2L	1.452	5.291	8,700	15	4,950	55	145	35	0	0	50	0
2L-5L-2L	1.456	7.299	6,200	1,390	2,581	265	328	139	88	0	0	20
3L-5L-2L	1.041	2.756	3,000	833	1,143	70	70	0	0	0	62	0
<u>รวมทั้งหมดในฝ่ายฯ</u>		75.939	92,000	3,833	57,905	1,558	1,093	861	288	127	404	105
<u>ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 3</u>												
3R-5L-2L	20.249	27.802	21,624	8,865	1,664	160	422	50	748	677	20	112
1L-3R-5L-2L	0.695	2.060	2,505	1,173	0	0	0	20	40	99	0	0
2L-3R-5L-2L	3.641	12.500	12,649	5,846	106	48	44	36	176	474	70	0
1R-2L-3R-5L-2L	0.675	3.000	1,247	502	0	0	0	0	0	199	45	0
3L-3R-5L-2L	6.602	8.480	8,226	2,784	1,902	90	200	162	12	23	150	34
1L-3L-3R-5L-2L	4.286	12.800	13,605	6,270	0	0	0	0	0	1,062	0	0
4L-3R-5L-2L	0.402	1.650	1,158	228	703	0	0	0	0	0	0	0
5L-3R-5L-2L	3.402	9.620	5,541	1,565	1,530	269	40	0	191	382	0	0

ตารางที่ 18 (ต่อ)

ชื่อคลอง	Qmax ม.^{3}/วินาที	ความยาว (กม.)	พื้นที่ (ไร่)	ประเภทเพาะปลูก (ไร่)								หมายเหตุ
				ข้าว	อ้อย	พืชไร่	พืชผัก	ผลไม้	ไม้ยืนต้น	บ่อปลา	บ่อกุ้ง	
1R-5L-3R-5L-2L	2.066	6.240	4,945	2,331	0	38	35	0	0	210	0	0
<u>รวมทั้งหมดในฝ่ายฯ</u>		84.152	71,500	29,564	5,905	605	741	268	1,167	3,126	285	146
<u>ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4</u>												
5L-2L	29.357	20.888	17,220	4,588	7,183	0	80	445	30	216	14	75
5L-5L-2L	6.254	12.760	13,931	6,534	28	0	4	379	17	318	45	144
1L-5L-5L-2L	2.359	7.640	9,482	4,677	0	0	0	44	0	84	0	0
4R-5L-2L	2.177	9.450	7,742	3,760	0	0	10	110	4	46	0	20
1R-4R-5L-2L	0.530	1.870	1,573	760	0	0	0	0	0	24	0	29
4L-5L-2L	5.287	9.600	8,725	1,094	5,564	42	301	295	114	68	153	0
1L-4L-5L-2L	0.649	2.299	3,665	856	1,580	19	95	89	0	42	50	0
3L-4L-5L-2L	0.659	1.546	3,212	970	903	0	94	265	0	0	37	0
<u>รวมทั้งหมดในฝ่ายฯ</u>		66.053	65,550	23,239	15,258	61	584	1,627	165	798	299	268

หมายเหตุ ช่องหมายเหตุ หมายถึงพื้นที่ว่างเปล่าและอื่นๆ

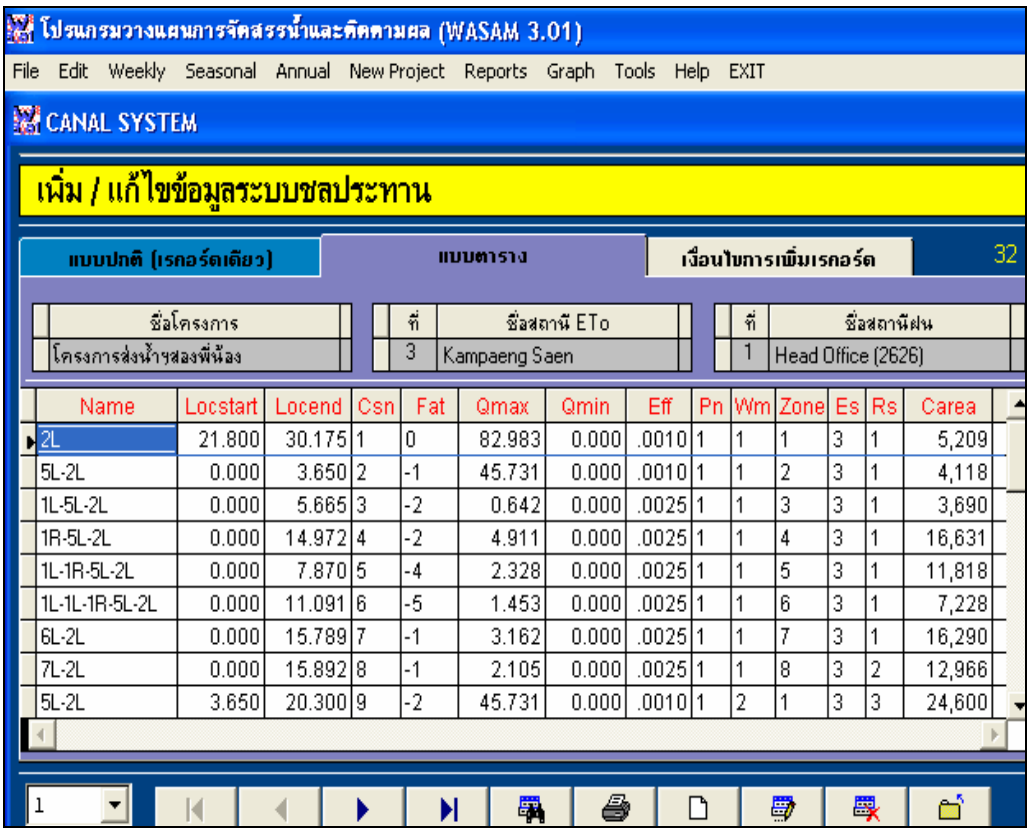
ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง WASAM Version 3.01

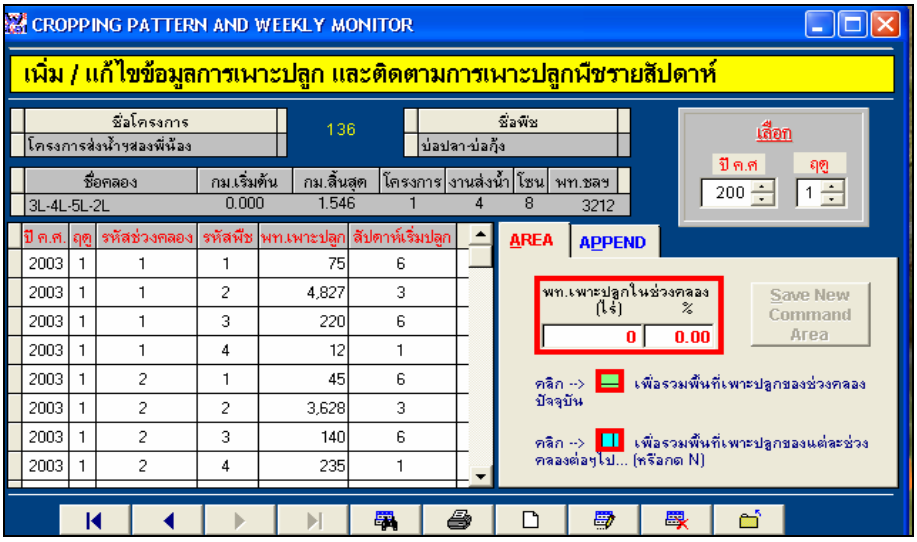
การประยุกต์ใช้แบบจำลอง WASAM Version 3.01 เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในแต่ละสัปดาห์ โดยในการศึกษานี้ จะใช้ฝนจริงแทนฝนคาดการณ์ และปริมาณน้ำในแปลงนา จะใช้สภาพปกติ ซึ่งผลการคำนวณปริมาณน้ำรายสัปดาห์จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในกรณีปกติสำหรับแบบจำลอง GAWA – 2004 ต่อไป การนำแบบจำลอง WASAM Version 3.01 ไปใช้ในการจัดสรรน้ำของโครงการ มีงานหรือกิจกรรมที่ต้องทำ คือ

1. แบ่งพื้นที่ของโครงการออกเป็น ช่วงคลอง หรือ Canal section ซึ่งหมายถึง พื้นที่คลองที่อยู่ระหว่าง ปตร. หรืออาคารควบคุมน้ำ 2 ตัว ศึกษาคุณสมบัติคลองที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรน้ำ การสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ และสภาพทางชลศาสตร์ของช่วงคลอง ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงการป้อนข้อมูลระบบชลประทานของโครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง

2. กำหนดปฏิทินการปลูกพืช สัปดาห์เริ่มปลูก ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กำหนดปฏิทินการเพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูกและสัปดาห์เริ่มปลูกในแต่ละช่วงคลอง

3. ศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชในรูปของค่า ETo ส.ป.ส. พืช ความต้องการน้ำในการเตรียมแปลง และประสิทธิภาพการใช้น้ำระดับแปลงนา

4. กำหนดจุดที่ตั้งอุปกรณ์วัดน้ำฝน ซึ่งสถานีที่ครอบคลุมพื้นที่โครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง มีทั้งหมด 5 จุด

5. กำหนดสมการฝนใช้การของพืชในโครงการ ซึ่งในการศึกษานี้ใช้สมการฝนใช้การของวัชระ (2537)

6. คำนวณความต้องการน้ำรายสัปดาห์ของโครงการล่วงหน้าตลอดฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2546 (ตั้งแต่ เดือนมกราคม ถึงเดือน มิถุนายน) ดังแสดงในภาพที่ 19

OVERVIEW OF THE CALCULATED DISCHARGES

DATE: 25/09/2007

IRRIGATION SYSTEM: Songphinong Irrigation Project

Year : 2003

Week : 6

Name	Station	CSN	Require	Supply	Loss	QMin	Disch.	QMax
2L	21.800	1	0.471	0.471	0.695	0.000	31.880	82.983
5L-2L	0.000	2	0.371	0.371	0.167	0.000	28.806	45.731
1L-5L-2L	0.000	3	0.218	0.218	0.009	0.000	0.227	0.642
1R-5L-2L	0.000	4	0.934	0.934	0.184	0.000	1.985	4.911
1L-1R-5L-2L	0.000	5	0.287	0.287	0.048	0.000	0.987	2.228

ภาพที่ 19 ตัวอย่างผลการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ในแต่ละ Canal section

ผลการศึกษาจากการพัฒนาแบบจำลอง GAWA - 2004

แบบจำลอง GAWA - 2004 ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย ดร.กัมปนาท ภักดีกุล ในปี พ.ศ. 2547 ซึ่งเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดสรรน้ำในลุ่มน้ำให้กับกลุ่มผู้ใช้น้ำในด้านต่างๆ ได้แก่ การอุปโภค-บริโภค อุตสาหกรรม เกษตรกรรม/ชลประทาน และการรักษาสภาพลำน้ำตามธรรมชาติ (Maintenance flow) เพื่อช่วยในการตัดสินใจจัดสรรน้ำให้เพียงพอต่อความต้องการ ลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการจัดสรรน้ำที่มากเกินความต้องการ หรือช่วยหาคำตอบการจัดสรรน้ำที่เท่าเทียมกันและเป็นธรรม รายละเอียดของแบบจำลอง ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การจัดเตรียมข้อมูลโครงข่ายของลุ่มน้ำ หรือระบบชลประทาน และ (2) วิธีการหาค่าตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) ที่ดีที่สุด โดยค่าตัวแปรตัดสินใจในการศึกษานี้ คือ ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้กลุ่มผู้ใช้น้ำต่างๆ (Water supply) ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้วยวิธีพันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (GAs) เพื่อให้ได้คำตอบที่เกิดการขาดแคลนน้ำอย่างเท่าเทียมกันในทุกๆ กลุ่มผู้ใช้น้ำ ดังสมการที่ 53 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง GAWA - 2004 เพื่อการจัดสรรน้ำในการศึกษานี้ มีขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 20

$$\textit{Minimise} \quad Z = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(d_i - x_i\right)^2}{d_i} + R_1P_1 + R_2P_2 + R_3P_3 \qquad (53)$$

เมื่อ n = จำนวน node ในระบบ

d_i = ความต้องการน้ำในแต่ละ node

x_i = ปริมาณน้ำที่สามารถส่งน้ำได้ในแต่ละ node

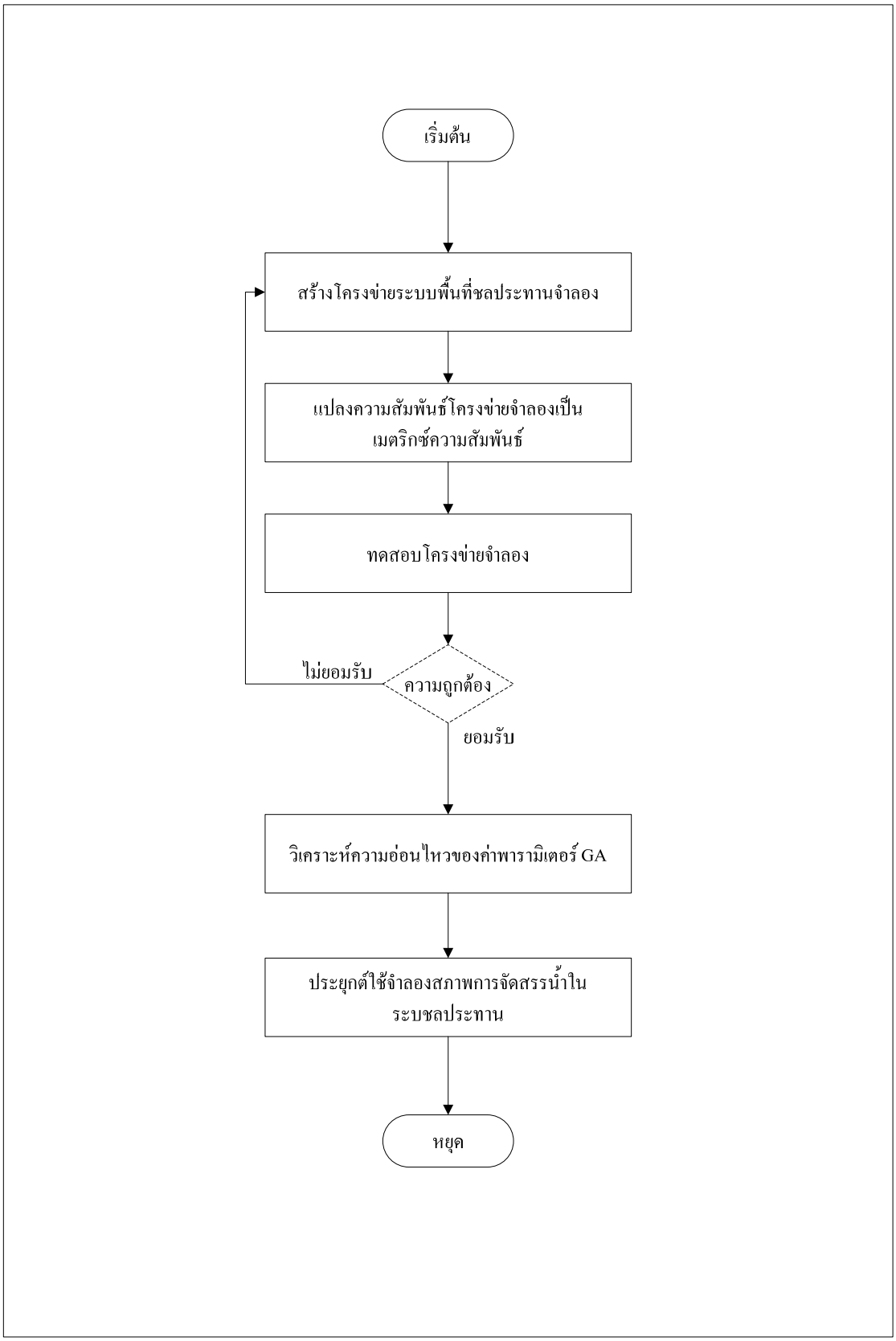
R_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้สมดุลน้ำ (Penalty factor)

R_2 = ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ปริมาณน้ำที่มากเกินความต้องการ (Penalty factor)

R_3 = ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ปริมาณน้ำที่มากเกินความจุของคลอง (Penalty factor)

การสร้างโครงข่ายระบบพื้นที่ชลประทานจำลอง

พื้นฐานการคำนวณการจัดสรรน้ำของแบบจำลอง GAWA-2004 จะใช้วิธีการของ Node and branch และหลักการคำนวณสมดุลน้ำเข้า - น้ำออกในแต่ละ node (Water balance) node แต่ละ node ใช้แทนตำแหน่งของจุดรับน้ำเข้า (Inflow node) จุดระบายน้ำส่วนเกิน (Sink node) และจุดที่ต้องการน้ำ (Demand node) node แต่ละ node ที่มีการเชื่อมต่อถึงกัน แสดงถึงความเกี่ยวข้องกันในการรับน้ำเข้า และกระจายน้ำออก รวมทั้งทิศทางการไหลเข้า - ไหลออกของแต่ละ node



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรม GAs

สำหรับระบบชลประทานในพื้นที่ของโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง ประกอบด้วย คลองส่งน้ำจำนวนทั้งหมด 32 สาย โดยมีคลองส่งน้ำสายใหญ่สาย 2L ซึ่งทำหน้าที่เป็นคลองรับน้ำที่ส่งมาจากพื้นที่ด้านท้ายน้ำของโครงการส่งน้ำฯพนมทวน และคลองส่งน้ำสาย 5L-2L เป็นคลองส่งน้ำสายหลักที่ทำหน้าที่ผันน้ำจากคลองส่งน้ำสายใหญ่สาย 2L เข้าสู่พื้นที่ในระบบชลประทานของโครงการฯ คลองส่งน้ำสาย 5L-2L ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคลองตามแนวความยาวของคลอง คลองส่งน้ำสาย 5L-2L ในแต่ละช่วง จะทำหน้าที่เป็น node รับน้ำและกระจายน้ำไปให้กับคลองส่งน้ำสายซอยต่างๆ ทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวาในแต่ละช่วงคลอง ปริมาณน้ำที่มากเกินความต้องการจะถูกระบายออกไปทางพื้นที่ด้านท้ายน้ำของโครงการฯ จากคลองส่งน้ำสายใหญ่สาย 2L ซึ่งก็เป็นพื้นที่ของโครงการส่งน้ำฯบางเลน และได้แสดงรายละเอียดของโครงข่ายระบบพื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง ดังภาพที่ 21

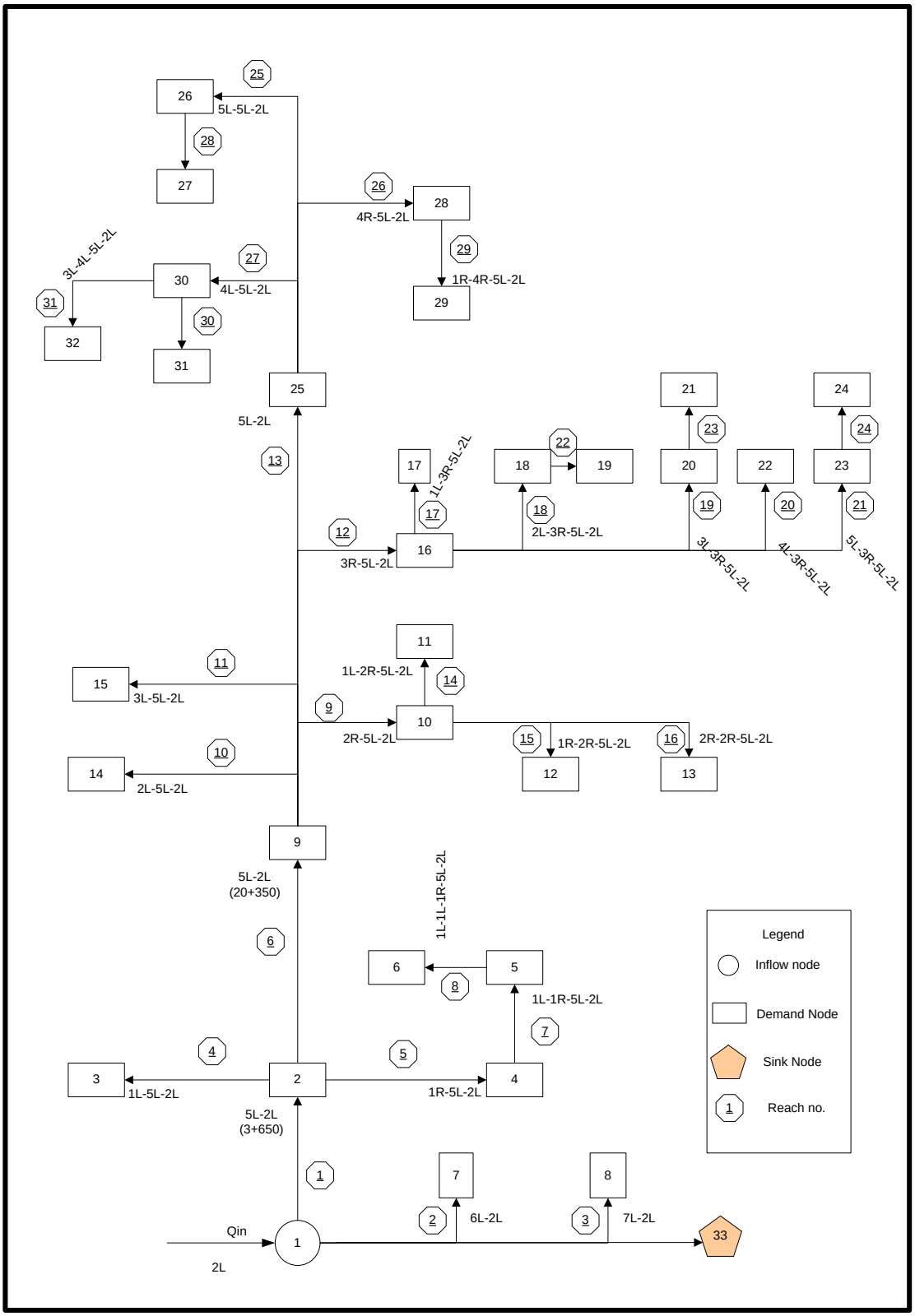
เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของโครงข่าย

เมทริกซ์ความสัมพันธ์ของโครงข่ายเป็นข้อมูลที่ใช้แทนความสัมพันธ์ หรือการเชื่อมต่อระหว่าง node ใด node หนึ่ง กับ node อื่นๆ รวมทั้งหมดจำนวน 33 nodes เริ่มตั้งแต่ node ที่ 1 ถึง node ที่ 33 และกำหนดทิศทางการไหลของคลองส่งน้ำเข้า – ออกในแต่ละ node รวมทั้งหมดจำนวน 32 คลอง เริ่มตั้งแต่คลองส่งน้ำสายใหญ่ 2 L, คลองส่งน้ำสาย 5 L - 2 L , 6 L - 2 L , 7 L - 2 L , ฯลฯ โดยกำหนดให้ การเชื่อมต่อระหว่าง node คู่ใดคู่หนึ่ง แทนด้วยตัวเลข 0 และ 1 คือ ตัวเลข 0 หมายถึง ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่าง node คู่นั้น และทิศทางการไหลระหว่าง node คู่หนึ่งแสดงด้วยเครื่องหมายบวก (+) และลบ (-) คือ ตัวเลข -1 หมายถึง มีการไหลออกจาก node และ +1 หมายถึง มีการไหลเข้า node (รายละเอียดของตารางเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของโครงข่าย แสดงในภาคผนวก ข)

นอกจากนี้ ข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้สำหรับการจำลองสภาพการณ์จัดสรรน้ำด้วยแบบจำลอง GAWA - 2004 ประกอบด้วย ข้อมูลความจุคลองสูงสุด - ต่ำสุด ข้อมูลปริมาณน้ำต้นทุน (Inflow) ข้อมูลความต้องการน้ำของแต่ละคลอง สรุปได้ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ และแหล่งที่มาของข้อมูล สำหรับแบบจำลอง GAWA - 2004

ข้อมูลนำเข้า	ที่มา	รูปแบบ
ข้อมูลความจุคลอง	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง	เท็กซ์ไฟล์
ข้อมูลความต้องการน้ำ	ผลการคำนวณ WASAM	เท็กซ์ไฟล์
ข้อมูล Inflow	ผลการคำนวณ WASAM	เท็กซ์ไฟล์
ข้อมูลโครงข่าย	จากการศึกษา	เท็กซ์ไฟล์



ภาพที่ 21 แผนผังระบบลุ่มน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง สำหรับแบบจำลอง GAWA - 2004

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของค่าพารามิเตอร์ ของแบบจำลอง GAWA – 2004

เนื่องจากปัญหาแต่ละปัญหามีความซับซ้อนที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับ จำนวนข้อมูล และค่าตัวแปรตัดสินใจ การหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธีการต่างๆ นั้น มีความจำเป็นต้องเลือกใช้พารามิเตอร์ของแต่ละวิธีที่เลือกให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ชุดคำตอบที่ใกล้กับค่าอุตตภาพมากที่สุด (Optimum) โดยปกติทั่วๆ ไปการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ นิยมใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวสำหรับการค้นหาคำตอบด้วยวิธีของ GAs การคัดเลือกชุดคำตอบ และการสร้างชุดคำตอบชุดใหม่ที่มีค่าที่ดีขึ้นกว่าชุดคำตอบเดิมขึ้นอยู่กับการกำหนดโอกาสในการสลับไขว้ (Crossover probability, Pc) โอกาสในการดัดแปลง (Mutation probability, Pm) ขนาดของการดัดแปลง (Modified mutation, Mu) รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การปรับแก้ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (R1 และ R2) รวม 5 พารามิเตอร์

สำหรับเกณฑ์ที่ใช้ประเมิน หรือคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ของ GAs ที่เหมาะสม ได้พิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ของ GAs ที่ทำให้ได้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด จำนวนรอบการคำนวณน้อยสุด (ใช้เวลาคำนวณน้อยสุด) และค่าสมดุลน้ำ (Balance) ของ node มีค่าใกล้ศูนย์มากที่สุด

การศึกษานี้ ได้เลือกใช้ข้อมูลความต้องการน้ำของระบบชลประทานในสัปดาห์ที่ 6 และได้กำหนดให้มีปริมาณน้ำไหลเข้าระบบเพียงร้อยละ 60 ของปริมาณน้ำไหลเข้าตามระบบที่ต้องการ ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

1. การคัดเลือกค่าความน่าจะเป็นในการสลับไขว้ (Pc)

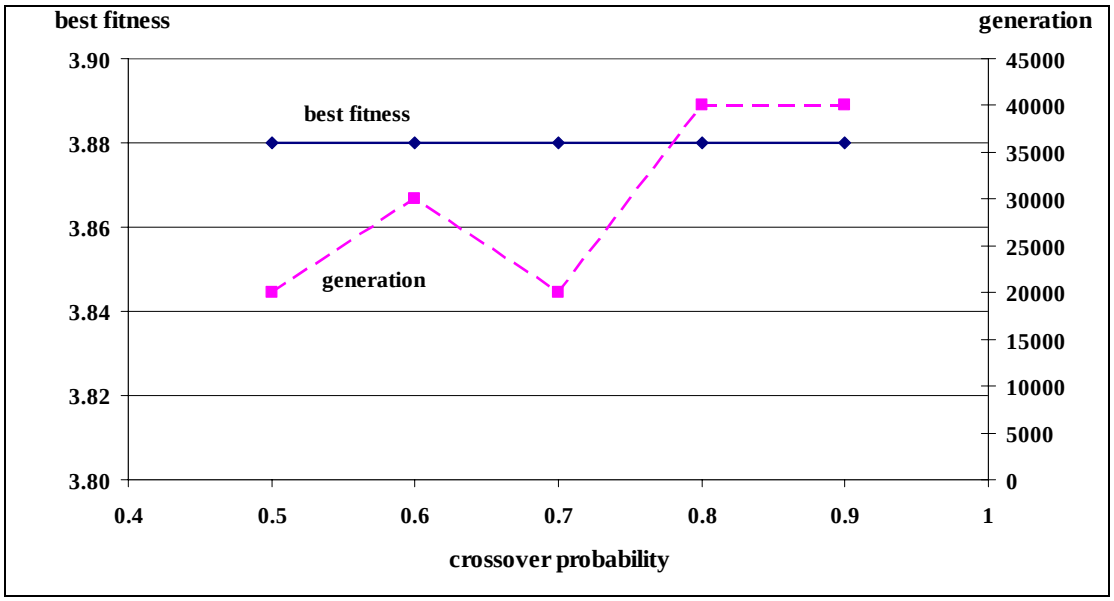
Michalewicz (1992) ได้เสนอแนะช่วงพิสัยของค่า Pc ที่เหมาะสมว่าควรอยู่ในช่วงระหว่างค่า 0.5 - 1.0 โดยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ดังนี้ จำนวนทางเลือกของชุดคำตอบ 300 ชุด ค่า Pm เท่ากับ 0.1 จำนวนรอบการคำนวณซ้ำสูงสุดที่ 90,000 รอบ ค่า Mu = 0.01 ค่า R1 = 10 และ R2 =4 ผลการคัดเลือกด้วยแบบจำลอง GAWA - 2004 ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 20 และภาพที่ 22

จากตารางที่ 20 พบว่า เมื่อเลือกใช้ค่า Pc ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.5 - 0.9 ค่า Fitness ที่ได้มีค่าเท่ากับ 3.875 ทุกกรณี แต่ใช้จำนวนรอบการคำนวณแตกต่างกัน โดยที่ค่า Pc เท่ากับ 0.5 และ 0.70 จะใช้จำนวนรอบการคำนวณน้อยที่สุดเท่ากับ 20,000 รอบ แสดงว่า การเลือกใช้ค่า Pc ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความถูกต้องของการคำนวณ แต่จะมีผลต่อเวลาในการคำนวณมากกว่า ในการจำลองสภาพการจัดสรรน้ำด้วยแบบจำลอง GAWA - 2004 ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ค่า Pc เท่ากับ 0.7

เพราะว่าค่า Pc ที่มากกว่า แสดงถึงโอกาสในการได้ชุดทางเลือกใหม่มากกว่าการเลือกใช้ค่า Pc ที่น้อยกว่า

ตารางที่ 20 ผลการวิเคราะห์ค่า Pc

ค่า Pc	Fitness	จำนวนรอบการคำนวณ
0.50	3.875	20,000
0.60	3.875	30,000
0.70	3.875	20,000
0.80	3.875	40,000
0.90	3.875	40,000



ภาพที่ 22 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่า Pc

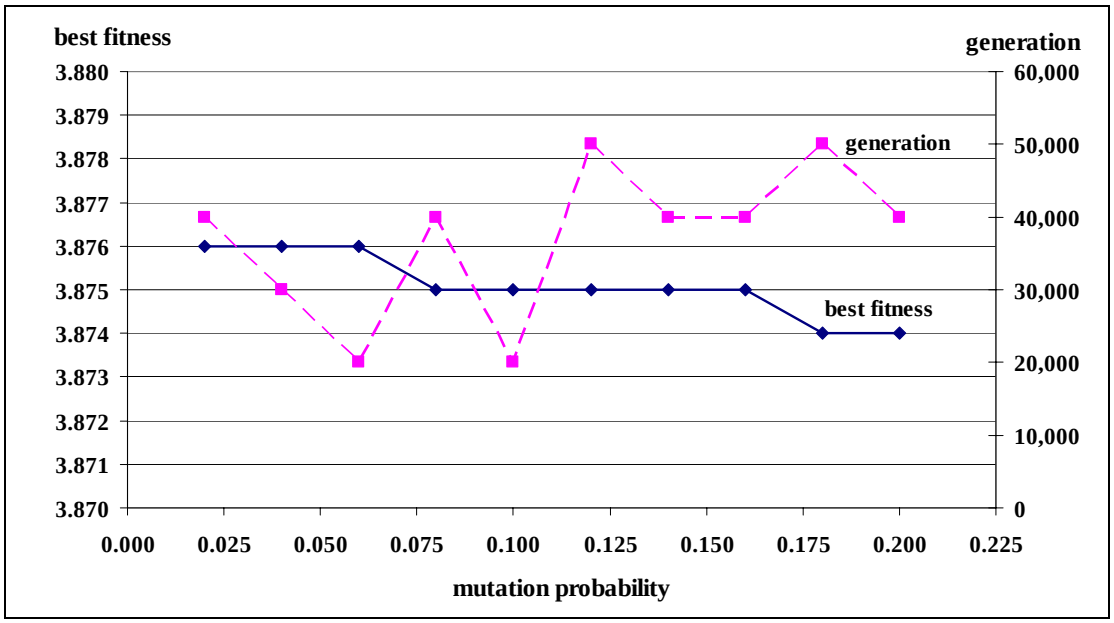
2. การคัดเลือกค่าความน่าจะเป็นในการดัดแปลงค่า (Pm)

การคัดเลือกค่า Pm ที่เหมาะสมจะคัดเลือกค่า Pm ที่อยู่ในช่วง 0.01 - 0.10 ซึ่งพิจารณาจากแบบจำลอง GAWA - 2004 ที่มีค่า Pc = 0.7 และค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ดังนี้ จำนวนชุดทางเลือกคำตอบ 300 ชุด จำนวนรอบการคำนวณที่ 90,000 รอบ ค่า Mu = 0.01 ค่า R1 = 10 และR2 = 4 ผลการคัดเลือกด้วยแบบจำลอง GAWA - 2004 ดังแสดงในตารางที่ 21 และภาพที่ 23

จากตารางที่ 21 พบว่า ค่า Fitness ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 3.874 - 3.876 ซึ่งแตกต่างกันน้อยมาก โดยค่าที่ใช้จำนวนรอบการคำนวณน้อยที่สุดเท่ากับ 20,000 รอบ ได้แก่ Pm เท่ากับ 0.06 และ 0.10 ซึ่งค่า Pm ที่เลือกใช้ในการจำลองสภาพการจัดสรรน้ำมีค่าเท่ากับ 0.10 นอกจากนี้สังเกตได้ว่า ค่า Pm ที่สูงขึ้น มีแนวโน้มที่ต้องใช้รอบการคำนวณที่มากขึ้น ซึ่งมีผลทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณมากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ค่า Pm

ค่า Pm	Fitness	จำนวนรอบการคำนวณ
0.02	3.876	40,000
0.04	3.876	30,000
0.06	3.876	20,000
0.08	3.875	40,000
0.10	3.875	20,000
0.12	3.875	50,000
0.14	3.875	40,000
0.16	3.875	40,000
0.18	3.874	50,000
0.20	3.874	40,000



ภาพที่ 23 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ค่า Pm

3. การคัดเลือกค่า R1

ค่า R1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของค่าการปรับแก้ค่าสมดุลน้ำของทุกๆ node (Water balance) หรือเป็นค่าแสดงความสำคัญของการปรับแก้ค่าสมดุลน้ำ เพื่อให้ทุก node มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นในการคัดเลือกค่า R1 ที่เหมาะสมที่สุด จะพิจารณาจากผลรวมของค่า Balance ของทุก node มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังแสดงผลการคัดเลือกค่า R1 ในตารางที่ 22

จากตารางที่ 22 พบว่าค่า R1 ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 26 จะให้ค่าสมดุลของทุก node (Balance) มีค่าเท่ากับศูนย์ ความสำคัญของสัมประสิทธิ์การปรับแก้สมดุลน้ำ คือ ผลของการเลือกใช้ค่า R1 ที่ต่ำไป จะทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องที่ลดลง ตัวอย่างเช่น (จากตารางที่ 22) การใช้ค่า R1 เท่ากับ 2 แบบจำลองจะให้ค่าสมดุลของทุก node (Balance) เท่ากับ 13.819

ตารางที่ 22 ผลการคัดเลือกค่า R1

ค่า R1	Fitness	จำนวนรอบการคำนวณ	Balance
2	0.976	70,000	13.819
4	1.851	50,000	12.244
6	2.626	50,000	10.674
8	3.300	40,000	9.152
10	3.875	30,000	7.553
12	4.349	40,000	6.044
14	4.723	40,000	4.540
16	4.998	40,000	2.929
18	5.168	20,000	1.901
20	5.241	20,000	0.304
22	5.243	20,000	0.002
24	5.243	20,000	0.001
26	5.241	50,000	0.000
28	5.242	40,000	0.040
30	5.243	40,000	0.000

4. การคัดเลือกค่า R2

ค่า R2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการปรับแก้ปริมาณน้ำในการส่งน้ำ (Supply) ที่มากเกินความต้องการน้ำ (Demand) ซึ่งพบว่า ค่า R2 ที่กำหนดให้เริ่มต้นเท่ากับ 4 ให้ผลการคำนวณที่มีค่า Supply น้อยกว่า Demand ดังนั้นการศึกษานี้จึงกำหนดให้ค่า R2 ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 4

5. การคัดเลือกค่า Modified mutation (Mu)

ค่า Mu เป็นค่าที่ใช้ในการปรับปรุงชุดคำตอบ หรืออัตราการไหลในคลองให้มีค่าที่เหมาะสมมากขึ้นจากชุดคำตอบชุดเดิม โดยการเพิ่ม (+) หรือลด (-) จากชุดคำตอบชุดเดิม เมื่อพิจารณาจากข้อมูลความต้องการน้ำต่ำสุด - สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 0 - 53.445 ลบ.ม./วินาที ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้กำหนดช่วงพิสัยคัดเลือกค่า Mu ในช่วง 0.001 - 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 23

จากตารางที่ 23 พบว่า การเลือกใช้ค่า Mu ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.015 จะได้คำตอบที่มีความถูกต้องน้อยลง เพราะค่า Fitness ที่สูงขึ้น ขณะที่ค่า Mu ที่มีค่าน้อยกว่า 0.015 จะได้คำตอบที่มีความถูกต้องมากขึ้น เพราะค่า Fitness ที่ต่ำลง ซึ่งสรุปได้ว่า การเลือกใช้วิธีดัดแปลงค่าจากชุดคำตอบชุดเดิมด้วยวิธีการเพิ่ม (+) หรือลด (-) จากค่าชุดคำตอบชุดเดิมด้วยค่า Mu มีผลอย่างมากต่อความละเอียดของคำตอบสุดท้าย ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เลือกใช้ค่า Mu เท่ากับ 0.013

ตารางที่ 23 ผลการคัดเลือกค่า Mu

ค่า Mu	Fitness	Balance
0.001	5.240	0.001
0.003	5.240	0.001
0.005	5.240	0.001
0.007	5.241	0.001
0.009	5.241	0.001
0.011	5.241	0.001
0.013	5.241	0.000
0.015	5.244	0.001
0.017	5.246	0.001
0.019	5.242	0.001
0.021	5.247	0.002
0.023	5.245	0.003
0.025	5.245	0.000
0.027	5.245	0.003
0.029	5.247	0.001
0.031	5.258	0.004
0.033	5.245	0.001
0.035	5.360	0.004
0.037	5.270	0.001
0.039	5.270	0.001
0.041	5.380	0.005
0.043	5.270	0.001

ตารางที่ 23 (ต่อ)

ค่า Mu	Fitness	Balance
0.045	5.470	0.002
0.047	5.267	0.003
0.049	5.249	0.015

ผลการศึกษาจากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GAWA - 2004 ในการจัดสรรน้ำ

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง GAWA - 2004 ในการคำนวณการจัดสรรน้ำได้เลือกเหตุการณ์ในการจำลองสภาพการจัดสรรน้ำเพื่อให้ครอบคลุมกับสภาพปัญหาในช่วงเวลาตัดสินใจแบบปกติและวิกฤต ได้แก่ ช่วงเวลาความต้องการใช้น้ำในสัปดาห์แรกเมื่อเริ่มต้นการปลูกพืช (สัปดาห์ที่ 6) ช่วงเวลาความต้องการใช้น้ำสูงสุด (สัปดาห์ที่ 16) ช่วงเวลาความต้องการใช้น้ำต่ำสุด (สัปดาห์ที่ 22) และช่วงเวลาความต้องการใช้น้ำในสัปดาห์สุดท้ายของการปลูกพืช (สัปดาห์ที่ 23) ซึ่งข้อมูลความต้องการใช้น้ำได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง WASAM Version 3.01 ในช่วงสัปดาห์ที่ 6, 16, 22 และ 23 ตามลำดับ สำหรับปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าระบบคลองชลประทานที่แตกต่างกันอีก 2 กรณี เป็นลักษณะของการสมมติ ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 24

กรณีน้ำแล้ง : ปริมาณน้ำต้นทุน = 60%, 70%, 80% และ90% ของปริมาณน้ำที่ต้องการแต่ละสัปดาห์

กรณีน้ำปกติ : ปริมาณน้ำต้นทุน = ปริมาณน้ำที่ต้องการแต่ละสัปดาห์

กรณีน้ำมาก : ปริมาณน้ำต้นทุน = 120% และ 150% ของปริมาณน้ำที่ต้องการแต่ละสัปดาห์

ตารางที่ 24 จำนวนกรณีการจำลองสภาพการณ์การจัดสรรน้ำด้วยแบบจำลอง GAWA - 2004

สถานการณ์น้ำ	ปริมาณน้ำต้นทุน / ปริมาณความต้องการน้ำ							รวม (กรณี)
	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	
น้ำแล้ง	●	●	●	●				4
น้ำปกติ					●			1
น้ำมาก						●	●	2
รวม (กรณี)								7

ผลการจำลองสภาพการจัดสรรน้ำด้วยแบบจำลอง GAWA - 2004 ในกรณีต่างๆ ในระบบชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 25 และสรุปได้ดังนี้

1. กรณีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับ 60%

แบบจำลอง GAWA – 2004 สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในแต่ละคลองส่งน้ำของสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งกับความต้องการใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.59 -0.62 สัปดาห์ที่ 16 อยู่ในช่วง 0.59-0.61 สัปดาห์ที่ 22 อยู่ในช่วง 0.58-0.61 และสัปดาห์ที่ 23 อยู่ในช่วง 0.59-0.61

2. กรณีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับ 70%

แบบจำลอง GAWA – 2004 สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในแต่ละคลองส่งน้ำของสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งกับความต้องการใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.69 - 0.71 สัปดาห์ที่ 16 อยู่ในช่วง 0.70 สัปดาห์ที่ 22 อยู่ในช่วง 0.69-0.71 และสัปดาห์ที่ 23 อยู่ในช่วง 0.67-0.72

3. กรณีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับ 80%

แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในแต่ละคลองส่งน้ำของสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งกับความต้องการใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.79-0.81

สัปดาห์ที่ 16 อยู่ในช่วง 0.79-0.81 สัปดาห์ที่ 22 อยู่ในช่วง 0.79-0.82 และสัปดาห์ที่ 23 อยู่ในช่วง 0.79-0.82

4. กรณีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับ 90%

แบบจำลอง GAWA – 2004 สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในแต่ละคลองส่งน้ำของสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งกับความต้องการใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.90-0.91 สัปดาห์ที่ 16 อยู่ในช่วง 0.90 สัปดาห์ที่ 22 อยู่ในช่วง 0.90-0.91 และสัปดาห์ที่ 23 อยู่ในช่วง 0.89-0.91

แสดงให้เห็นว่า ในช่วงขาดแคลนน้ำ แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถจัดสรรน้ำได้จริงตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มี และจัดสรรน้ำได้อย่างเท่าเทียมกัน

5. กรณีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับ 100%

แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในแต่ละคลองส่งน้ำของสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งกับความต้องการใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.99 - 1.0 สัปดาห์ที่ 16 อยู่ในช่วง 0.99-1.0 สัปดาห์ที่ 22 อยู่ในช่วง 0.97-1.0 และสัปดาห์ที่ 23 อยู่ในช่วง 0.98-1.0 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงเวลาปกติ แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถจัดสรรน้ำได้จริงตามความต้องการ และตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่อย่างเพียงพอและได้อย่างเท่าเทียมกัน

ตารางที่ 25 แสดงสัดส่วนปริมาณน้ำต่อความต้องการน้ำ โดยใช้แบบจำลอง GAWA - 2004

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
ก) ปริมาณน้ำต้นทุน = 0.6 เท่าของความต้องการน้ำ			
6	0.59	0.62	0.60
16	0.59	0.61	0.60
22	0.58	0.61	0.60
23	0.59	0.61	0.60
ข) ปริมาณน้ำต้นทุน = 0.7 เท่าของความต้องการน้ำ			
6	0.69	0.71	0.70
16	0.70	0.70	0.70
22	0.69	0.71	0.70
23	0.67	0.72	0.70
ค) ปริมาณน้ำต้นทุน = 0.8 เท่าของความต้องการน้ำ			
6	0.79	0.81	0.79
16	0.79	0.81	0.80
22	0.79	0.82	0.80
23	0.79	0.82	0.80
ง) ปริมาณน้ำต้นทุน = 0.9 เท่าของความต้องการน้ำ			
6	0.90	0.91	0.90
16	0.90	0.90	0.90
22	0.90	0.91	0.90
23	0.89	0.91	0.90
จ) ปริมาณน้ำต้นทุน = 1.0 เท่าของความต้องการน้ำ			
6	0.99	1.00	1.00
16	0.99	1.00	1.00
22	0.99	1.00	0.99
23	0.98	1.00	0.99

ตารางที่ 25 (ต่อ)

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
ฉ) ปริมาณน้ำต้นทุน = 1.2 เท่าของความต้องการน้ำ			
6	0.98	1.0	0.99
16	0.99	1.0	1.00
22	0.99	1.0	0.99
23	0.98	1.0	0.99
ช) ปริมาณน้ำต้นทุน = 1.5 เท่าของความต้องการน้ำ			
6	0.99	1.00	0.99
16	0.98	1.00	1.00
22	0.96	1.00	0.99
23	0.98	1.00	0.98

6. กรณีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับ 120%

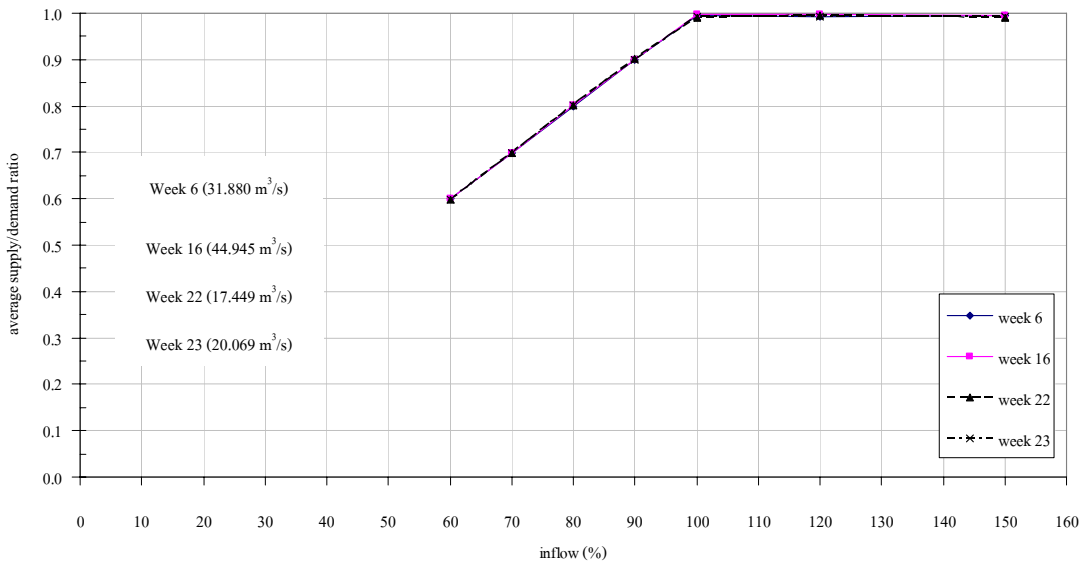
แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในแต่ละคลองส่งน้ำของสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งกับความต้องการใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.98 - 1.0 สัปดาห์ที่ 16 อยู่ในช่วง 0.99 - 1.0 สัปดาห์ที่ 22 อยู่ในช่วง 0.99 -1.0 และสัปดาห์ที่ 23 อยู่ในช่วง 0.98 - 1.0

7. กรณีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับ 150%

แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในแต่ละคลองส่งน้ำของสัปดาห์ที่ 6 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งกับความต้องการใช้น้ำอยู่ในช่วง 0.99 - 1.0 สัปดาห์ที่ 16 อยู่ในช่วง 0.98-1.0 สัปดาห์ที่ 22 อยู่ในช่วง 0.96 -1.0 และสัปดาห์ที่ 23 อยู่ในช่วง 0.98 - 1.0

แสดงให้เห็นว่า ในช่วงน้ำมาก แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถจัดสรรน้ำได้จริงตามปริมาณความต้องการใช้น้ำ และสามารถคำนวณปริมาณน้ำส่วนเกินที่จะไหลออกจากระบบไป

ยังพื้นที่ถัดไปได้ด้วยค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนปริมาณน้ำที่ส่งได้จากการคำนวณต่อปริมาณความต้องการใช้น้ำในแต่ละสัปดาห์ และที่สถานการณ์ปริมาณน้ำต้นทุนต่างๆ ดังได้แสดงไว้ในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วยแบบจำลอง GAWA- 2004 ตามความต้องการใช้น้ำในสัปดาห์ต่างๆ

ผลการเปรียบเทียบจากการจัดสรรน้ำระหว่าง

แบบจำลอง GAWA - 2004 และแบบจำลอง WASAM Version 3.01

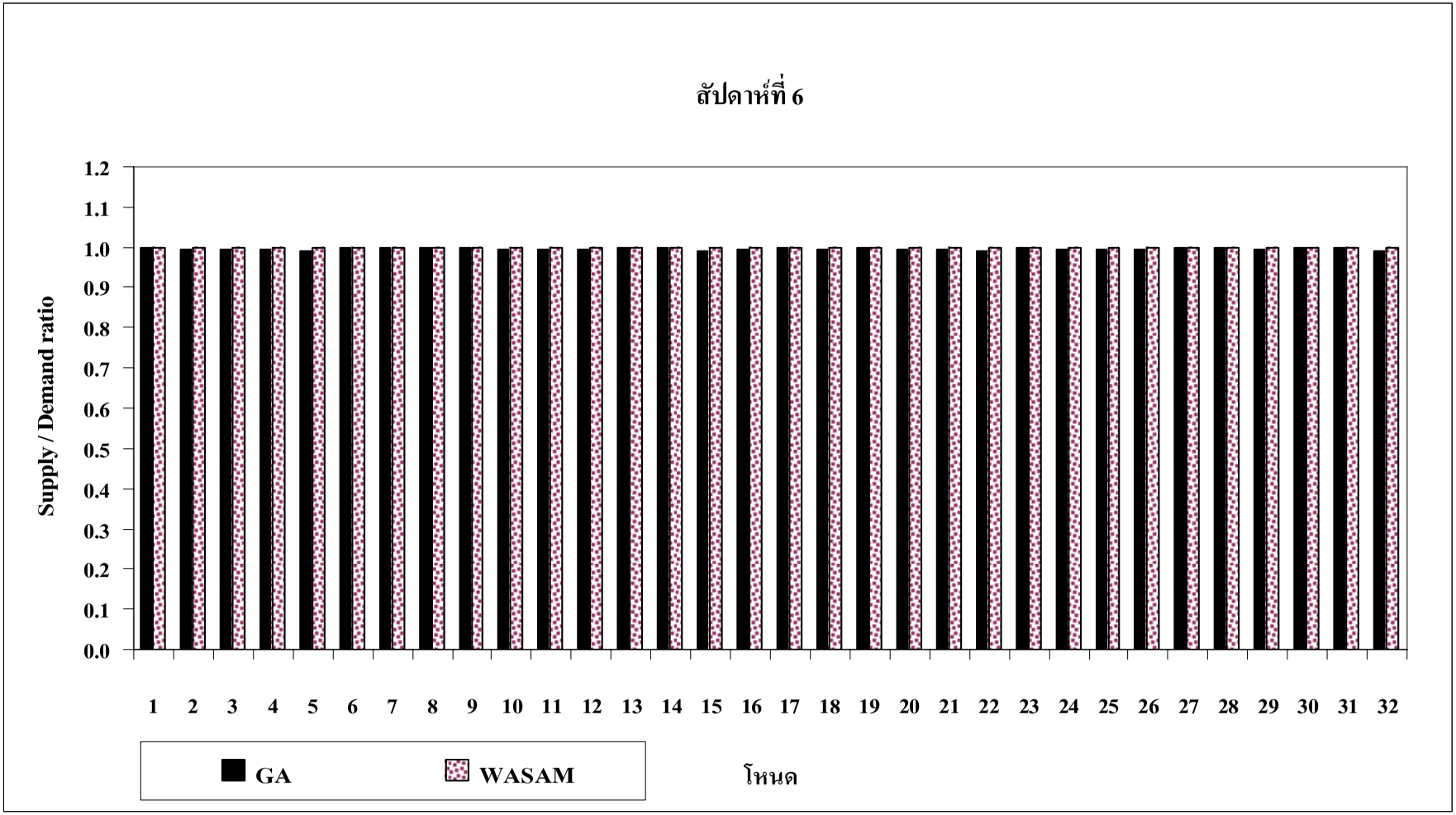
การจัดสรรน้ำจากผลการพัฒนาแบบจำลอง GAWA - 2004 ในช่วงเวลาความต้องการใช้น้ำที่แตกต่างกันและภายใต้เงื่อนไขของปริมาณน้ำต้นทุนต่างๆ ได้นำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองการจัดสรรน้ำที่โครงการชลประทานนิยมใช้ในการติดตามและประเมินผลการจัดสรรน้ำในโครงการ ได้แก่ แบบจำลอง WASAM Version 3.01 โดยเปรียบเทียบผลการจัดสรรน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกในเขตพื้นที่โครงการชลประทานเมื่อปริมาณน้ำต้นทุนมีความแตกต่างกัน ได้ดังนี้

กรณีปริมาณน้ำต้นทุนมีน้อยกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำรวม (Supply < Demand) พบว่า แบบจำลอง WASAM ไม่สามารถช่วยวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ในแต่ละคลองได้ เนื่องจาก ข้อจำกัดของแบบจำลอง WASAM ที่ไม่สามารถวางแผนการจัดสรรน้ำได้เมื่อปริมาณน้ำต้นทุนไม่เพียงพอ ในขณะที่แบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถช่วยวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดส่งน้ำในแต่ละคลองได้ตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ และทุกๆ คลองจะได้รับการจัดสรรน้ำอย่าง

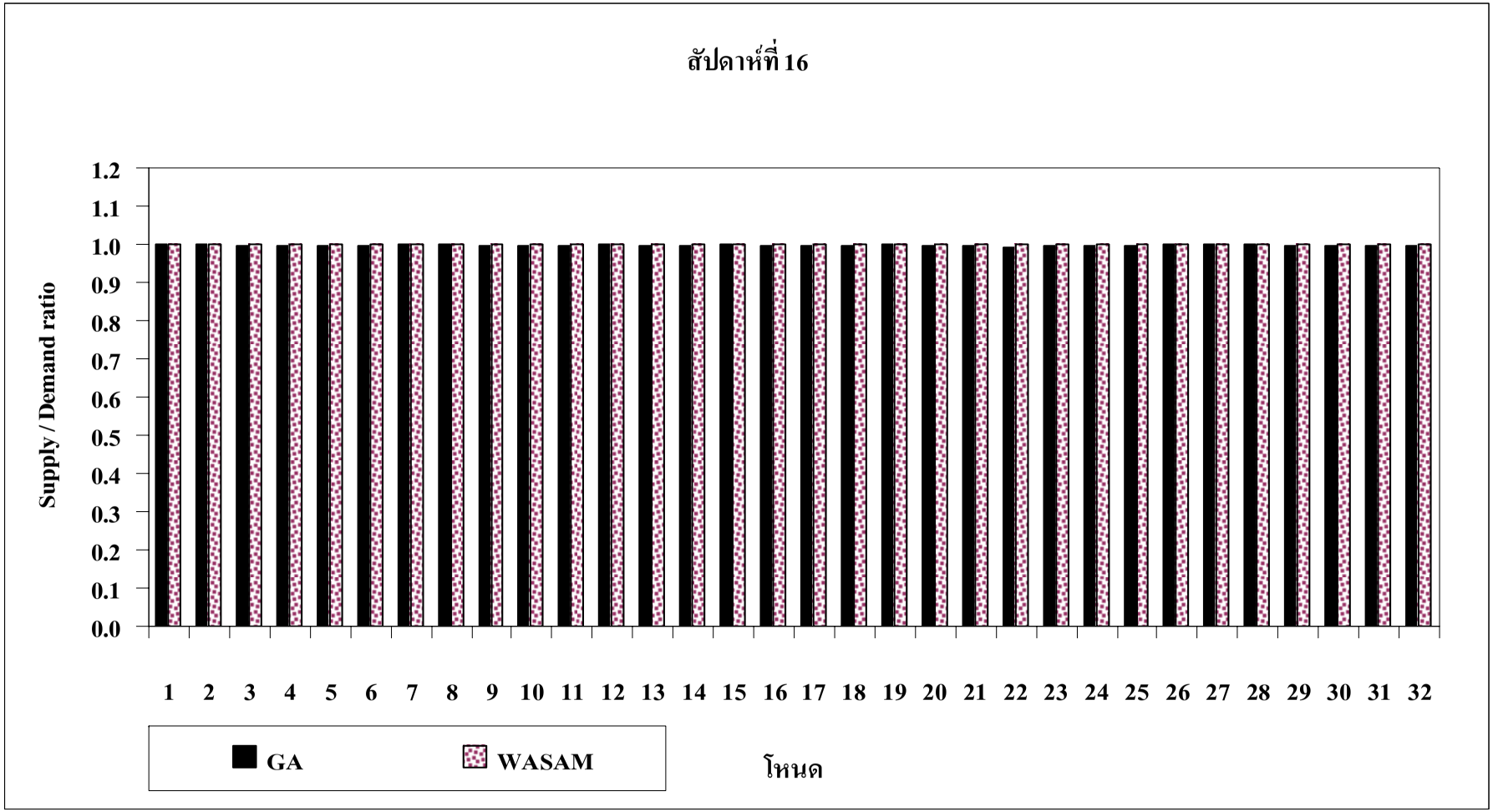
เป็นธรรมและเท่าเทียมกัน โดยอัตราการส่งน้ำที่คำนวณต่อปริมาณความต้องการใช้น้ำ มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของปริมาณน้ำต้นทุนต่อปริมาณความต้องการใช้น้ำ

กรณีปริมาณน้ำต้นทุนมีเท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำ (Supply = Demand) พบว่าแบบจำลอง WASAM สามารถช่วยวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดสรรน้ำได้ ซึ่งก็เท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำของแต่ละคลอง และแบบจำลอง GAWA - 2004 ที่พัฒนาขึ้นโดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าต่ำสุดของผลต่างระหว่างความต้องการใช้น้ำกับปริมาณน้ำต้นทุน พบว่าแบบจำลอง GAWA - 2004 ก็สามารถช่วยวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดส่งน้ำในแต่ละคลองส่งน้ำได้เท่ากับแบบจำลอง WASAM ในคลองส่งน้ำสายหลักและคลองส่งน้ำสายย่อย ซึ่งจะมีเพียงบางคลองเท่านั้นที่พบว่าแบบจำลอง GAWA - 2004 มีการจัดสรรน้ำได้น้อยกว่าแบบจำลอง WASAM เพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการปัดเลขทศนิยม โดยแบบจำลอง GAWA - 2004 ยังคงสามารถจัดสรรน้ำได้ตามความต้องการอย่างเป็นธรรมและเท่าเทียมกันทุกประการ

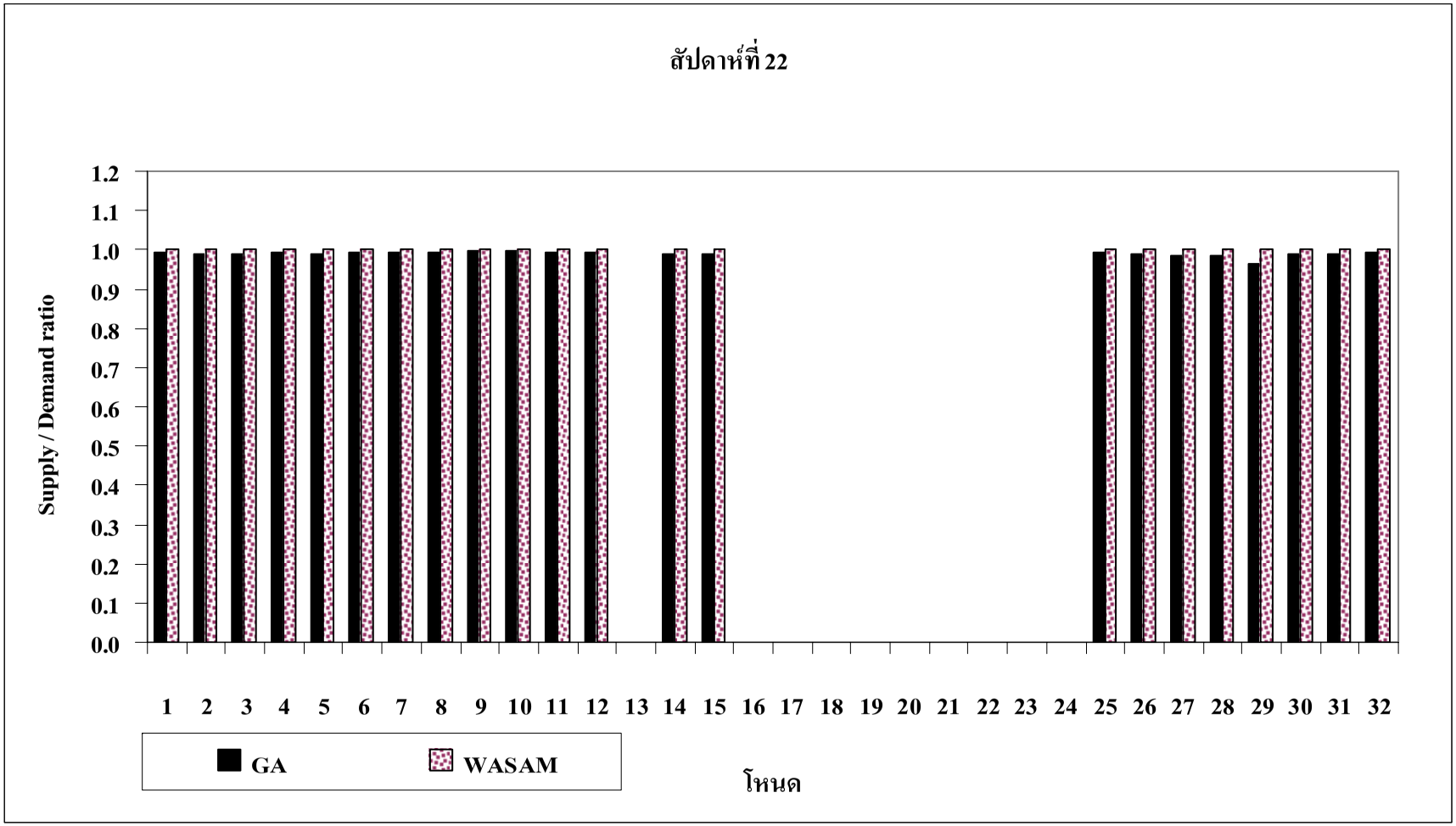
กรณีปริมาณน้ำต้นทุนมีมากกว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำ (Supply > Demand) พบว่าแบบจำลอง WASAM และแบบจำลอง GAWA - 2004 สามารถช่วยวิเคราะห์ในการจัดสรรน้ำได้เท่ากับกรณีที่มีปริมาณน้ำต้นทุนเท่ากับปริมาณความต้องการใช้น้ำ ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่เกินความต้องการจะถูกระบายออกนอกเขตพื้นที่โครงการไปยังพื้นที่ของโครงการฯ ถัดไป



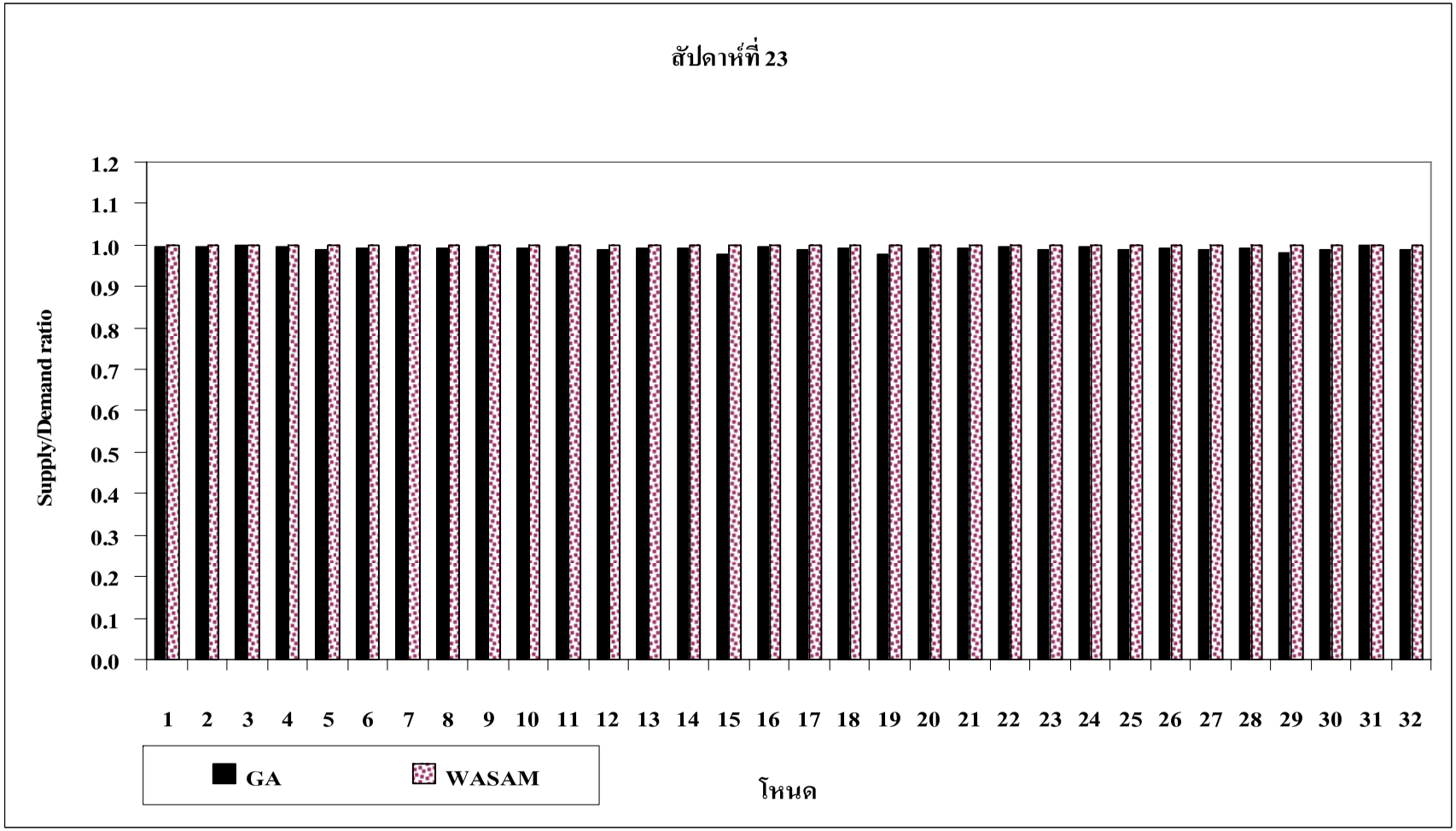
ภาพที่ 25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 6



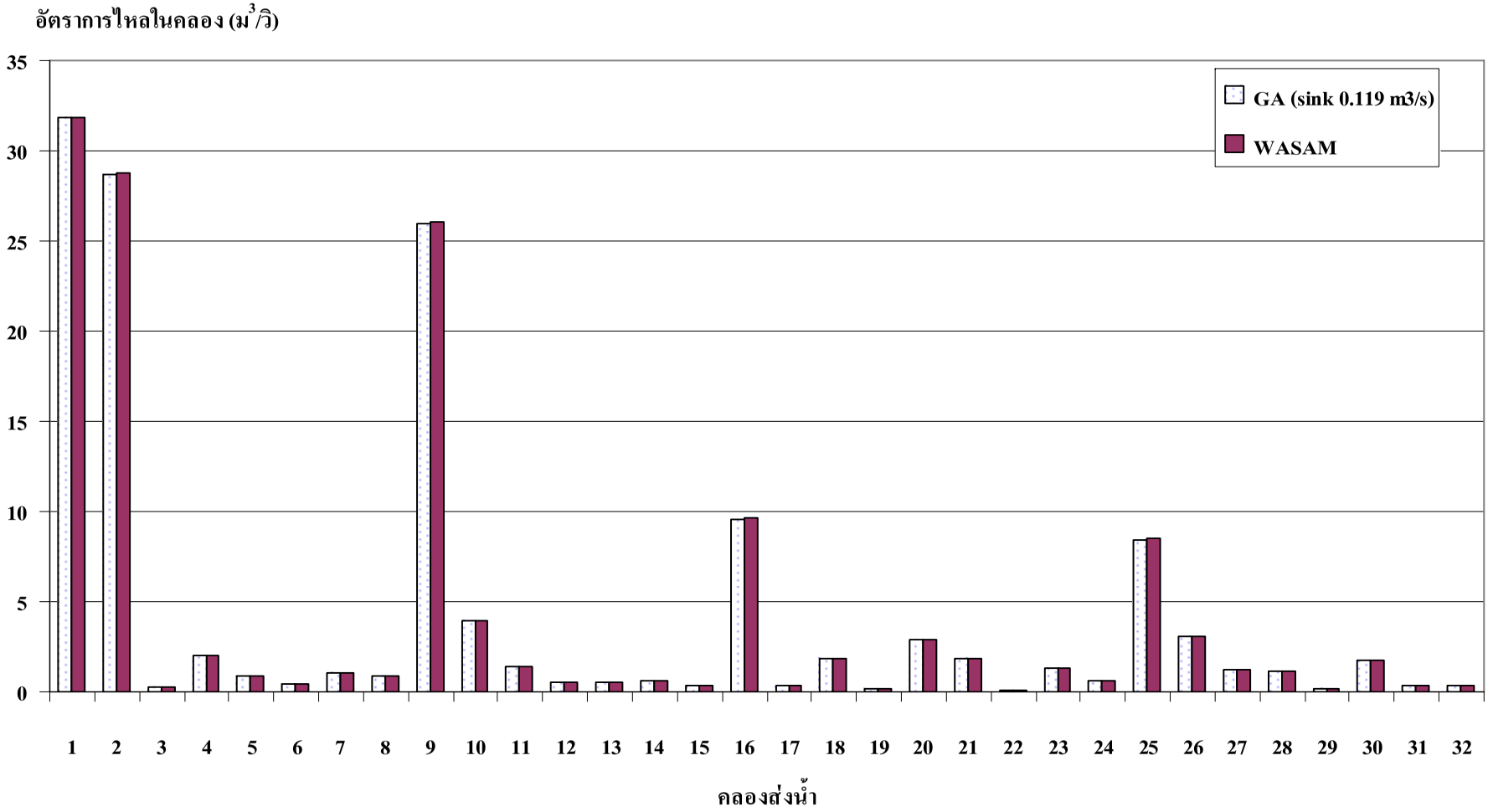
ภาพที่ 26 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 16



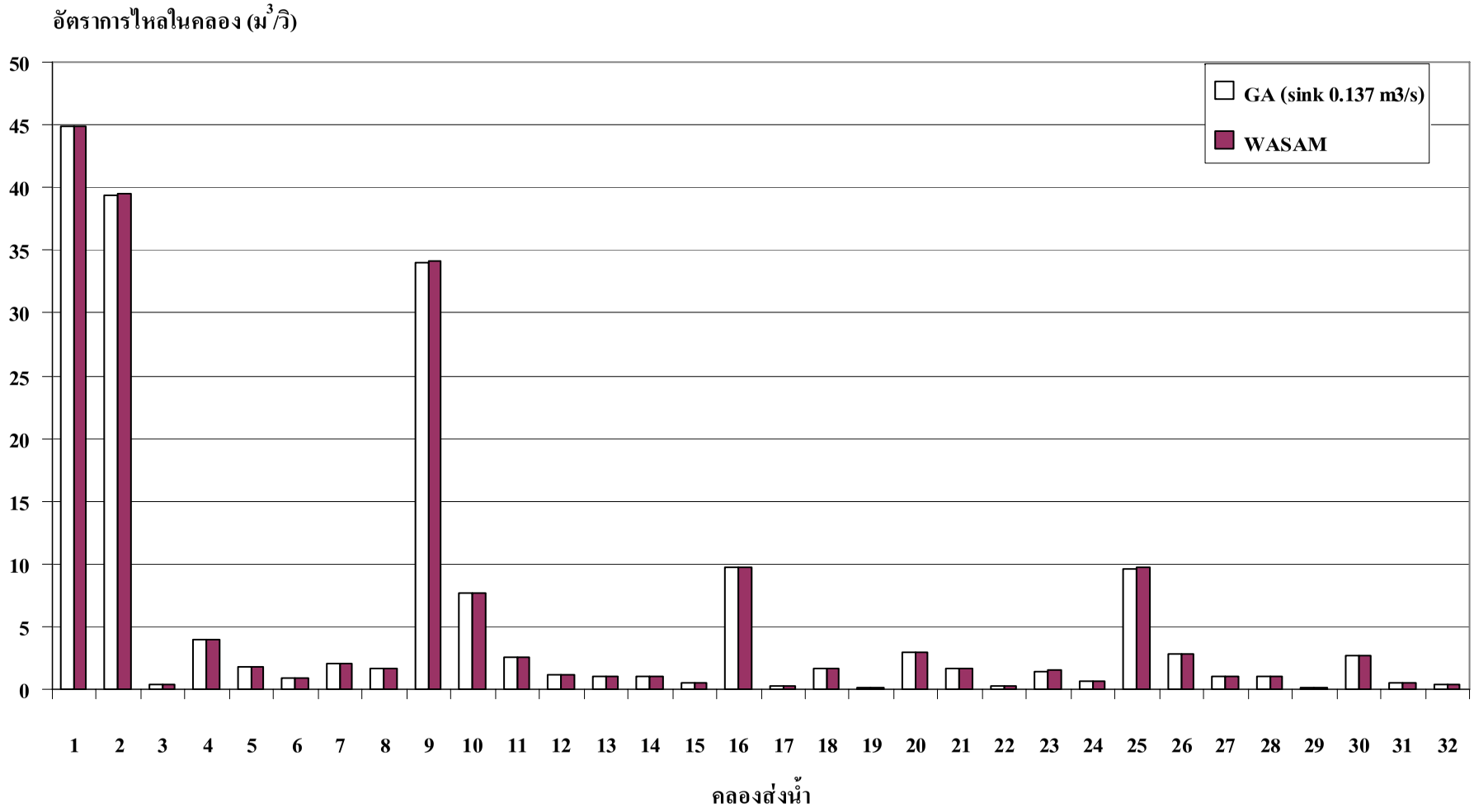
ภาพที่ 27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 22



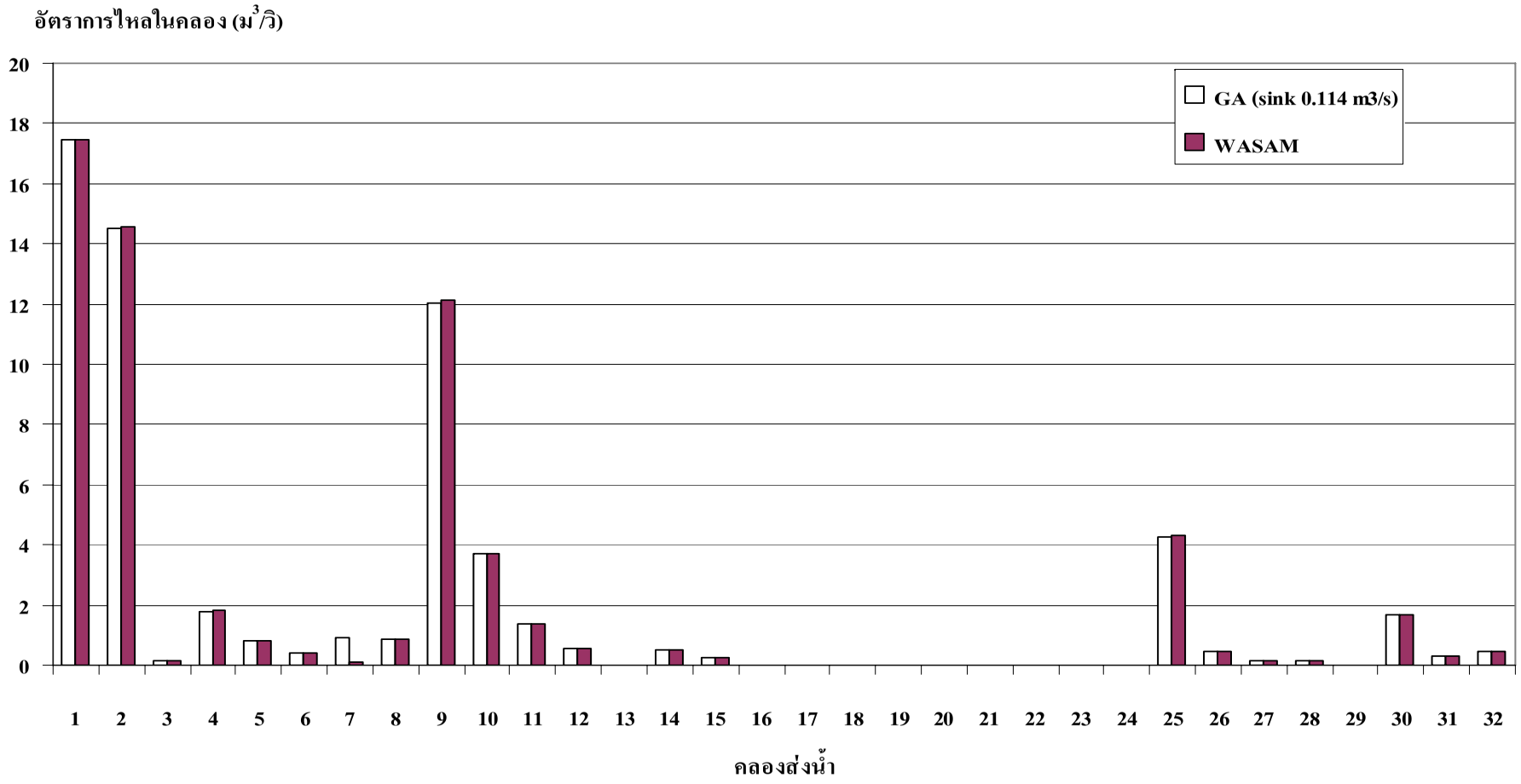
ภาพที่ 28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Supply / Demand Ratio ระหว่าง GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 23



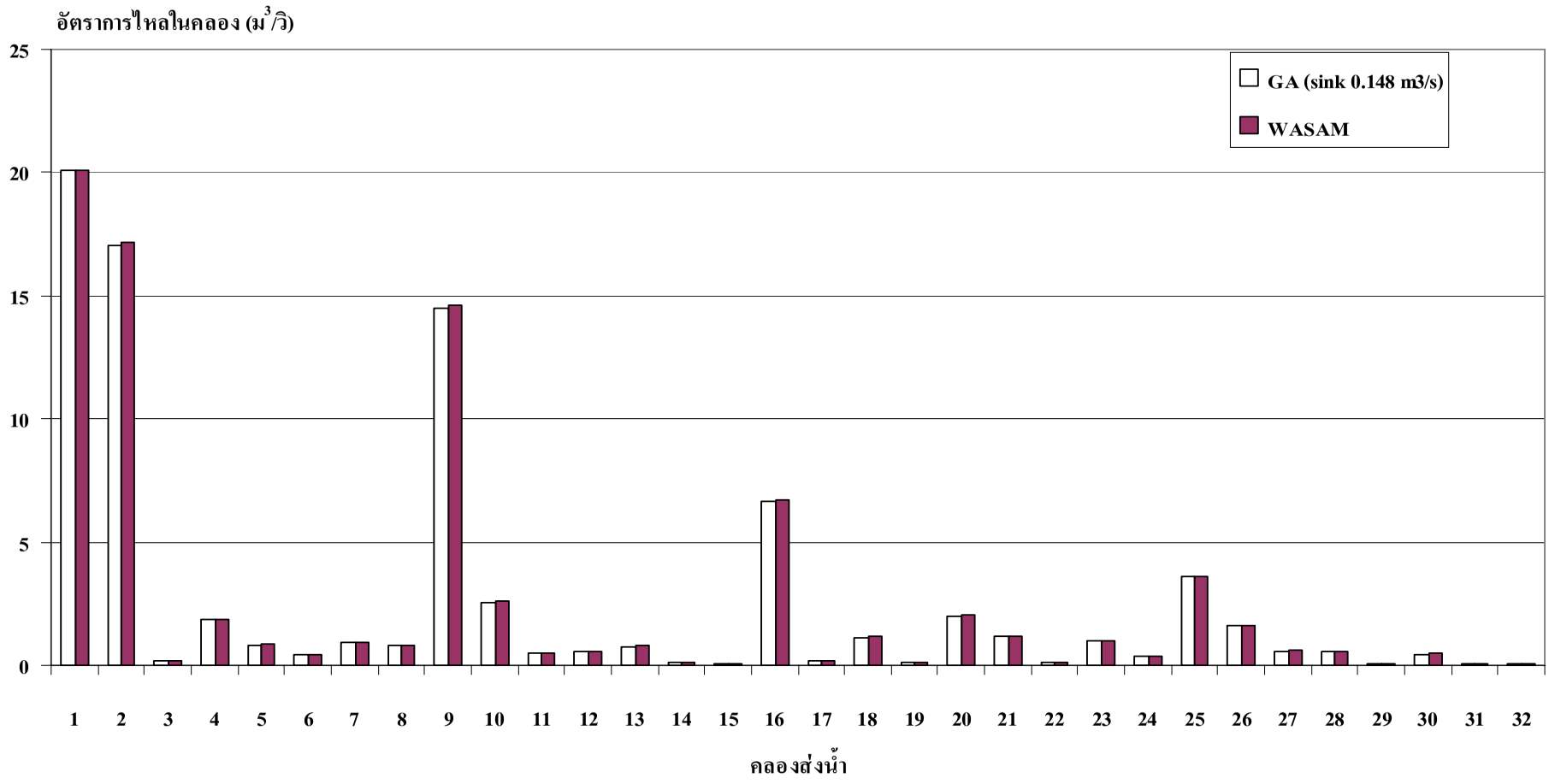
ภาพที่ 29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 6



ภาพที่ 30 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 16



ภาพที่ 31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 22



ภาพที่ 32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการจัดสรรน้ำด้วย GAWA-2004 และ WASAM Version 3.01 ในสัปดาห์ที่ 23

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การประยุกต์ใช้พันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (GAs) ด้วยแบบจำลอง GAWA - 2004 เพื่อช่วยคำนวณปริมาณน้ำในการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง ในเขตพื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง โดยใช้แบบจำลอง WASAM Version 3.01 ในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะต้องจัดสรรน้ำตามความต้องการใช้น้ำ (Demand) และปริมาณน้ำต้นทุน (Supply) ที่มีอยู่อย่างจำกัด ในกรณีที่เกิดสภาวะขาดแคลนน้ำ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเกิดความเท่าเทียมกันในการใช้น้ำชลประทาน จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2546 ที่ได้นำมาใช้ในการศึกษา ผลการคำนวณความต้องการใช้น้ำในพื้นที่โครงการฯ โครงข่ายระบบชลประทานจำลองการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง GAWA - 2004 และการจัดสรรน้ำในช่วงเวลาและสถานการณ์น้ำต้นทุน สามารถสรุปได้ดังนี้

จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GAWA - 2004 เพื่อจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง สามารถสร้างระบบจำลองของพื้นที่ชลประทานประกอบด้วย node การรับน้ำ node การใช้น้ำ และ node การระบายน้ำ รวมทั้งหมด 33 nodes พื้นที่การใช้น้ำถูกจัดออกเป็นกลุ่มตามคลองส่งน้ำสายต่างๆ รวม 32 คลอง ได้ค่าพารามิเตอร์ของ GAs ที่เหมาะสมประกอบด้วย จำนวนชุดทางเลือก 300 ชุด ค่า Crossover probability (Pc) เท่ากับ 0.7 ค่า Mutation probability (Pm) เท่ากับ 0.1 ค่า Modified mutation (Mu) เท่ากับ 0.013 และค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้สมดุลน้ำ R1 และ R2 เท่ากับ 26 และ 4 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวของค่าพารามิเตอร์ของ GAs แสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญในการใช้แบบจำลอง GAs เพื่อการจัดสรรน้ำซึ่งทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ได้แก่ ค่าดัดแปลงจากคำตอบชุดเดิม (Mu) และค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้สมดุลน้ำ (R1) ถ้าค่าพารามิเตอร์ทั้งสองมีค่าสูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้คำตอบที่ได้ผิดพลาดมาก ดังนั้น ในการนำแบบจำลอง GAWA - 2004 ไปประยุกต์ใช้งานในพื้นที่ของโครงการอื่นๆ จะต้องมีการศึกษาหาค่า Mu และ R1 ที่เหมาะสมกับโครงการนั้นๆ ก่อนนำไปใช้งาน

จากการเปรียบเทียบผลการจัดสรรน้ำระหว่างแบบจำลอง WASAM และแบบจำลอง GAs พบว่า แบบจำลอง WASAM Version 3.01 ไม่สามารถช่วยตัดสินใจในสถานการณ์ที่มีปริมาณน้ำต้นทุนน้อยกว่าความต้องการน้ำของพื้นที่ได้ (Supply < Demand) ขณะที่แบบจำลอง GAWA-2004

ที่พัฒนาโดยใช้เทคนิคการหาค่าความเหมาะสม (Optimization) สามารถจัดสรรน้ำได้ตามฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ในการพัฒนาแบบจำลอง ในทุกสถานการณ์น้ำต้นทุน ณ เวลาจริง ทำให้สามารถจัดสรรน้ำให้พื้นที่ต่างๆ ได้อย่างเป็นธรรม กล่าวคือ กรณีที่มีปริมาณน้ำต้นทุนน้อยกว่าความต้องการใช้น้ำ แบบจำลอง GAWA - 2004 จะจัดสรรน้ำให้แต่ละพื้นที่ได้รับปริมาณน้ำตามสัดส่วนปริมาณน้ำต้นทุนต่อความต้องการใช้น้ำโดยเท่าเทียมกันในทุกๆ พื้นที่ และถ้าปริมาณน้ำต้นทุนมีปริมาณพอดี หรือมีปริมาณมากกว่าความต้องการใช้น้ำ แบบจำลอง GAWA - 2004 ก็สามารถจัดสรรน้ำให้แต่ละพื้นที่ได้ตามความต้องการน้ำ โดยที่ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความต้องการนั้น แบบจำลอง GAWA - 2004 ก็จะคำนวณในส่วนที่ต้องระบายออกไป หรือจัดสรรน้ำต่อไปยังพื้นที่ของโครงการฯถัดไป

นอกจากนี้ยังพบว่า พันธุกรรมคอมพิวเตอร์ (GAs) สามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดสรรน้ำได้ดี โดยสามารถช่วยวิเคราะห์การส่งน้ำได้อย่างทั่วถึงและเป็นธรรม ทำให้เกิดความเท่าเทียมกันในระบบ และยังสามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการโดยสอดคล้องกับข้อจำกัดที่มีอยู่ตามสภาพความเป็นจริง

ข้อเสนอแนะ

1. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง GAWA - 2004 กับพื้นที่โครงการชลประทานอื่นๆ ก่อนใช้จะต้องทำการคัดเลือกค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่เหมาะสม โดยเฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การปรับแก้สมดุลน้ำ (R1) เนื่องจากในแต่ละพื้นที่มีข้อมูลเฉพาะที่แตกต่างกัน

2. พัฒนาและประยุกต์ใช้กับการจัดสรรน้ำในช่วงเวลาต่อเนื่องกัน (Multi-period) เช่น ตลอดช่วงฤดูกาลเพาะปลูก เพื่อลดการขาดแคลนน้ำเนื่องจากปริมาณน้ำต้นทุนที่ลดลง

3. ควรผนวกฟังก์ชั่นวิเคราะห์ผลการขาดแคลนน้ำในแต่ละช่วงเวลาต่อผลผลิตพืชที่ได้ (Yield) เพื่อวางแผนและจัดลำดับความสำคัญในการจัดสรรน้ำให้กับพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

4. ควรมีการนำการพยากรณ์ฝนไปใช้เพื่อลดปริมาณน้ำที่ต้องส่งในสัปดาห์ต่อไป

5. การประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ร่วมในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่

6. ควรวางแผนการจัดสรรน้ำโดยใช้แบบจำลอง GAWA-2004 และพิจารณาแบบองค์รวม เช่นในกรณีลุ่มน้ำแม่กลองที่มีระบบการบริหารจัดการน้ำที่มีความซับซ้อนและต่อเนื่องกัน โดยจะต้องพิจารณาปริมาณน้ำต้นทุนจากเขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนศรีนครินทร์ ความต้องการน้ำจากส่วนต่างๆ อาทิ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทาน การอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม และการผลักดันน้ำเค็ม เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำเป็นระบบแบบบูรณาการ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2536. Reservoir Operation Study, น. 1-1–1, 6 – 11. *ใน* **รายงานทางวิชาการฉบับที่ 4 โครงการซ่อมแซมและปรับปรงเขื่อนมูลบน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2538. **รายงานทางวิชาการฉบับที่ 9 การศึกษาหาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงและฝนใช้การบนแปลงทดลองในสนาม โครงการซ่อมแซมและปรับปรุงเขื่อนมูลบน**. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2539. การจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ, น.4-1 –1, 4 – 56. *ใน* **เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ**. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. **รายงานทางวิชาการฉบับที่ 13 การใช้น้ำและการบำรุงรักษา.** คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กอบเกียรติ ผ่องพุฒิ. 2528. **การศึกษาการใช้ลุ่มน้ำลำพระเพลิง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัมปนาท ภักดีกุล. 2546. “เจเนติกอัลกอริธึ่ม (Genetic Algorithms) การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำ”. **วันชูชาติ** 128-144.

เขมชาติ ศุภวัฒนกุล. 2529. **การใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดในโครงการชลประทานประเภทเขื่อนหรือฝายทดน้ำ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เจษฎา แก้วกัลยา. 2527. ความต้องการน้ำชลประทาน, น. 159-209. *ใน* ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, (ผู้รวบรวม). **เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมการจัดการน้ำชลประทาน เล่ม 1**. กรมชลประทาน, นนทบุรี

ฉลอง เกิดพิทักษ์. 2527. **การจัดการลุ่มน้ำของประเทศไทย.** ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2528. **การจัดการลุ่มน้ำของประเทศไทย.** ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2531. **การจัดการลุ่มน้ำของประเทศไทย.** สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2538. **การจัดการลุ่มน้ำของประเทศไทย.** ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____และ ชัยวัฒน์ ขยันการนาวี. 2527. **การหาปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงสำหรับปลูกข้าวนาดำในสนาม โครงการพัฒนาชนบทแบบผสมผสานน้ำอูน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร.** Louis Berger International, Inc., New Jersey, U.S.A.

ดิเรก ทองอร่าม. 2526. ความต้องการน้ำชลประทานและค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ, น. 7-104. *ใน* คณะกรรมการจัดสัมมนาทางวิชาการ, (ผู้รวบรวม). **เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงาน.** สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

_____. 2528. **ความต้องการน้ำของพืช**. กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

_____. 2529. **ความต้องการน้ำของพืชและค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ.** กองฝึกอบรม กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

ดำรง จรัสวัฒน์. 2525. **หลักการชลประทาน**. เอกสารการบรรยายวิชาการชลประทาน. กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

ทวี เต็มญารศิลป์. 2528. **การประเมินผลการใช้น้ำชลประทานในแปลงจัดรูปที่ดินตัวอย่าง โครงการแม่กลองใหญ่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทวีวัช สำเนียงประเสริฐ. 2518. **คำบรรยายวิชา Irrigation Science ประจำปีการศึกษา 2518 -2519**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิรันดร์ นาคทับทิม. 2530. **การประเมินผลการจัดส่งน้ำชลประทานในระดับไร่นา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัญชา ขวัญยืน. 2540. **เอกสารประกอบการสอนวิชา การจัดการเรื่องน้ำ.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2541. **เอกสารประกอบการสอนวิชา การวิเคราะห์ระบบเพื่อการวางแผนและการจัดการโครงการชลประทาน.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

ประพันธ์ สพเสถียร. 2539. **การประเมินผลการใช้งานระบบจัดสรรน้ำและติดตามผลสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนัส กำเนิดมณี. 2538. **คู่มือการใช้แบบจำลอง WUSMO รุ่น 4.6**. มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา, นครปฐม.

ลำจวน เขียวแก่. 2539. **การพัฒนา WASAM 2.2 และประยุกต์ใช้ในการจัดสรรน้ำและติดตามประเมินผลการส่งน้ำ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2525. **เอกสารประกอบการสอนวิชา ออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2532. **การวางโครงการและประเมินผล.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2537. **การติดตามและประเมินผลการปฏิบัติงานชลประทาน.** เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการจัดการน้ำเพื่อการชลประทานสำหรับข้าราชการลาว. มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2538. **การจัดการน้ำชั้นสูง.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2538 ก. **การประยุกต์คอมพิวเตอร์สำหรับวิศวกรรมชลประทาน.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2539. การคำนวณ ETo ของประเทศไทย โดยวิธี Penman – Montieth. **วิศวกรรมสาร มก** 29 (10): 91-103.

_____. 2544. Artificial Neural Networks. **ชลกรฉบับวันชูชาติ** 4 (1) : 89-100

_____. 2545. **เอกสารประกอบการสอนวิชา เทคนิควิจัยทางวิศวกรรมชลประทาน.** ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

_____ และ วัชระ เสือดี. 2538. การพัฒนาโปรแกรม WASAM Version 2. **วิศวกรรมสาร มก.** 9 (26): 18-40.

วัชระ เสือดี. 2537. **การพัฒนาโปรแกรมจัดสรรน้ำและติดตามผลการใช้น้ำสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

วิทยาลัยการชลประทาน และ NEWMASIP. 2537. **คู่มืออ้างอิงโปรแกรม WASAM การวางแผนการส่งน้ำและติดตามผล.** กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2518. การหา Potential Evapotranspiration ในประเทศไทย โดยสูตรซึ่งใช้ข้อมูลภูมิอากาศ. **วิทยาสารเกษตรศาสตร์** 1 (9): 26 - 34.

_____. 2526. **หลักการชลประทาน.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2535. **การจัดการน้ำชลประทาน.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 1. สำนักงานข่ายวิจัยการจัดการระบบชลประทานแห่งประเทศไทย, ขอนแก่น.

สรศักดิ์ ทรงศิริพันธุ์. 2533. **การศึกษาการใช้น้ำเตรียมแปลงสำหรับการปลูกข้าวในฤดูแล้งของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดงเศรษฐี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิชาติ อนุกูลอำไพ, วิบูลย์ บุญยธโรกุล, วราวุธ วุฒิวณิชย์, โกวิท ท้วมเสงี่ยม และ มนตรี ค้ำชู. 2524. **คู่มือการชลประทานระดับไร่นา.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, กรุงเทพฯ.

อิลาโก-เอ็มไพร์. 2529. **รายงานแผนทบทวนบุคลากรโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง.** กรมชลประทาน, นครปฐม.

โอสถ ชาญเวชช์. 2528. การวางแผนปลูกพืชในเขตชลประทาน, น. 9-1 – น. 9-14. *ใน* **เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการวางโครงการพัฒนาแหล่งน้ำ.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Abernethy, C.L. 1990. **Indicators and criteria of the performance of irrigation system**. FAO/Regional workshop on improved irrigation system performance for sustainable agriculture held at Bangkok, Thailand.

Acres International Limited. 1979. **Chao Praya – Maeklong Basin Study Phase 1 – Appendix C**. Royal Irrigation department, Bangkok.

Anwar, A.A. and D. Clarke. 2001. Irrigation Scheduling Using Mixed-Integer Linear Programming. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 127 (2): 63-69.

Atiya, A.F., S.M. El-Shoura., S.I. Shaheen. and M.S. EL-Sherif. 1999. A Comparison between Neural Network Forecasting Techniques-Case Study :River Flow Forecasting. **IEEE Transactions on Neural Networks** vol. 10, no. 2.

Bhaktikul, K. 2001. **The development of a Genetic Algorithm for real time water allocation and water scheduling in complex irrigation systems**. Ph.D. thesis School of Civil and Environmental Engineering, The University of Edinburgh

_____ and R.B. Wardlaw. 2004. **Genetic Algorithms for Water Allocation-2004 (GAWA-2004). Department of Intellectual Property**. Thailand. Copyright 80745.

Bos, M.G., D.H. Murray-Rust, D.I. Merrey, H.G. Johnson and W.B. Snellen. 1993. **Methodologies for Assessing Performance of Irrigation and Drainage Management**. A Paper Presented at 15th International Congress of ICID, Hague, Netherland.

Casley, D.J. and K. Kumar. 1987. **Project Monitoring and Evaluation in Agriculture.** The John Hopkins University Press., Baltimore, Maryland, U.S.A.

Chen, Y.M. 1997. Management of water resources using improved genetic algorithms. **J. Comp. and Elect. in Agric.** 18: 117-127.

Cieniawski, S.E., J.W. Eheart. and S. Ranjithan. 1995. Using genetic algorithms to solve a multiobjective groundwater monitoring problem. **Water Resources Research** 31 (2): 399-409.

Coals, A.V. and R.B. Wardlaw. 1994. Review of Computational Procedures in Dynamic Programming with Appications in Water Resources. **Tech. Report** No. CENV1094, The University of Edinburgh.

Davidson, J.W. and I.C. Goulter. 1995. Evolution Program for Design of Rectilinear Branched Networks. **J. of Computing in Civil Engineering** 13 (4): 246-253.

Esat, V. and M.J. Hall. 1994. **Water Resources System Optimization Using Genetic Algorithms**. Hydroinformatics'94, Proceedings of a Specialty Conference on Hydroinformatics, Balkema, Rotterdam.

Fahmy, H.S., J.P. King., M.W. Wentzel. and J.A. Seton. 1994. **Economic Optimization of River Management Using Genetic Algorithms**. Present at the American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph: MI.

Franchini, M. 1996. Use of a genetic algorithm combined with a local search method for the automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models. **Hydrol. Sci. J.** 41 (1): 21-39.

Garces, C. 1983. **A methodology to evaluate the performance of irrigation systems; Application to Philippine national systems**. Unpublished Ph.D. thesis, Cornell University.

Goldberg, D.E. 1989. **Genetic Algorithms in search optimization & machine learning**. Addison-Wesley, Reading, Mass. USA.

_____ and C.H. Kuo. 1987. Genetic Algorithms in Pipeline Optimization. **Journal of Computing in Civil Engineering** 1 (2): 128-141.

Hannan, T.C. and V.A. Coals. 1995. Real-Time Water Allocation for Irrigation. **Journal of the Institute of Water and Environment** 9 (1): 19-26.

Halhal, D., G.A. Walters., D. Ouazar. and D.A. Savic. 1997. Water Network Rehabilitation with Structure Messy Genetic Algorithm. **Journal of Water Resources Planning and Management** 123 (3): 137-146.

Lenton, R.A. 1984. **A note on monitoring productivity and equity in irrigation systems**. In Productivity and equity in irrigation systems, op. cit.

Levine, G. 1982. **Relative water supply : An explanatory variable for irrigation system**. Technical Report No. 6 Cormell University, New York, USA.

Malano, H.M. 1994. **Management, Operation and Maintenance of irrigation system**. International course on the water resources and Irrigation management. University of Memberne and Rangsit University, Bangkok, Thailand.

_____. 1995. **Course on Use of Computer Modelling for Operation of Irrigation Schemes**. Royal Irrigation Department, Bangkok.

McKinney, D.C. and M.D. Lin. 1994. Genetic algorithm solution of groundwater management models. **Water Resour. Res.** 30 (6): 1897-1906.

Molden, D. J. and T.K. Gates. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water delivery systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 116 (6): 804-823.

Michalewicz, Z. 1992. **Genetic Algorithms + data structure = evolution programs**. Springer-Verlag, New York, Inc., New York.

Oliveira, R. and D.P. Loucks. 1997. Operating Rules for Multi reservoir Systems. **Journal of Water Resources Research** 33 (4): 839-852.

Sakthivadivel, R., C. Defraiture., D.J. Molden., C. Perry. and W. Kloezen. 1999. Indicators of land and water productivity in irrigated agriculture. **International Journal of Water Resources Development** 15 (1/2): 161-179.

Usaid. 1988. **Handbook of Improved irrigation project operation practices for the Kingdom of Thailand**. Wms report 82. Utah State Univ. Agr and Irr. Eng. Dep., Logan, Utah.

Wang, L.Q. 1991. **Induced Mutation for Crop Improvement in China**. Plant Mutation Breeding for Crop Improvement Volume I. IAEA, Vienna.

Wardlaw, R.B. and J.M. Barnes. 1996. Optimal alocation of irrigation water supplies in real time. **J. Irri. And Drainage Engrg.** 125 (6): 345-354.

_____. and M. Sharif. 1999. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. **J. Water Resour. Plng and Mgmt.** 125 (1): 25-33.

Winston, W.L. 1994. **Operations Research: Application and Algorithms**. Third Edition. Indiana University.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แสดงผลข้อมูลจากการรันแบบจำลอง WASAM Version 3.01

CANAL SYSTEM DATA

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง

NAME	BEGIN	END	CSN	FAT	QMAX	QMIN	Eff.	PN	WM	ZONE	ES	RS	CAREA	DMON
2L	21.800	30.175	1	0	82.983	0.000	.0010	1	1	1	3	1	5,209	N
5L-2L	0.000	3.650	2	-1	45.731	0.000	.0010	1	1	2	3	1	4,118	N
1L-5L-2L	0.000	5.665	3	-2	0.642	0.000	.0025	1	1	3	3	1	3,690	N
1R-5L-2L	0.000	14.972	4	-2	4.911	0.000	.0025	1	1	4	3	1	16,631	N
1L-1R-5L-2L	0.000	7.870	5	-4	2.328	0.000	.0025	1	1	5	3	1	11,818	N
1L-1L-1R-5L-2L	0.000	11.091	6	-5	1.453	0.000	.0025	1	1	6	3	1	7,228	N
6L-2L	0.000	15.789	7	-1	3.162	0.000	.0025	1	1	7	3	1	16,290	N
7L-2L	0.000	15.892	8	-1	2.105	0.000	.0025	1	1	8	3	2	12,966	N
5L-2L	3.650	20.300	9	-2	45.731	0.000	.0010	1	2	1	3	3	24,600	N
2R-5L-2L	0.000	18.467	10	-9	9.036	0.000	.0025	1	2	2	3	3	20,700	N
1L-2R-5L-2L	0.000	18.320	11	-10	3.314	0.000	.0025	1	2	3	3	3	20,000	N
1R-2R-5L-2L	0.000	7.156	12	-10	1.598	0.000	.0025	1	2	4	3	2	8,800	N
2R-2R-5L-2L	0.000	5.291	13	-10	1.452	0.000	.0025	1	2	5	3	4	8,700	N
2L-5L-2L	0.000	7.299	14	-9	1.456	0.000	.0025	1	2	6	3	3	6,200	N
3L-5L-2L	0.000	2.756	15	-9	1.041	0.000	.0025	1	2	7	3	3	3,000	N
3R-5L-2L	0.000	27.802	16	-9	20.249	0.000	.0010	1	3	1	3	4	21,624	N
1L-3R-5L-2L	0.000	2.060	17	-16	0.695	0.000	.0025	1	3	2	3	4	2,505	N
2L-3R-5L-2L	0.000	12.500	18	-16	3.641	0.000	.0025	1	3	3	3	4	12,649	N
1R-2L-3R-5L-2L	0.000	3.000	19	-18	0.675	0.000	.0025	1	3	4	3	4	1,247	N
3L-3R-5L-2L	0.000	8.480	20	-16	6.602	0.000	.0025	1	3	5	3	4	8,226	N
1L-3L-3R-5L-2L	0.000	12.800	21	-20	4.286	0.000	.0025	1	3	6	3	4	13,605	N
4L-3R-5L-2L	0.000	1.650	22	-16	0.402	0.000	.0025	1	3	7	3	4	1,158	N
5L-3R-5L-2L	0.000	9.620	23	-16	3.402	0.000	.0025	1	3	8	3	4	8,541	N
1R-5L-3R-5L-2L	0.000	6.240	24	-23	2.066	0.000	.0025	1	3	9	3	4	4,945	N
5L-2L	20.300	41.188	25	-9	29.357	0.000	.0010	1	4	1	3	3	17,220	N
5L-5L-2L	0.000	12.760	26	-25	6.254	0.000	.0025	1	4	2	3	5	13,931	N
1L-5L-5L-2L	0.000	7.640	27	-26	2.359	0.000	.0025	1	4	3	3	5	9,482	N
4R-5L-2L	0.000	9.450	28	-25	2.177	0.000	.0025	1	4	4	3	5	7,742	N
1R-4R-5L-2L	0.000	1.870	29	-28	0.530	0.000	.0025	1	4	5	3	5	1,573	N
4L-5L-2L	0.000	9.600	30	-25	5.287	0.000	.0025	1	4	6	3	3	8,725	N
1L-4L-5L-2L	0.000	2.299	31	-30	0.649	0.000	.0025	1	4	7	3	3	3,665	N
3L-4L-5L-2L	0.000	1.546	32	-30	0.659	0.000	.0025	1	4	8	3	3	3,212	N

OVERVIEW OF THE CALCULATED DISCHARGES

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM: Songphinong Irrigation Project

Year : 2003

Week : 6

Name	Station	CSN	Require	Supply	Loss	QMin	Disch.	QMax
2L	21.800	1	0.471	0.471	0.695	0.000	31.880	82.983
5L-2L	0.000	2	0.371	0.371	0.167	0.000	28.806	45.731
1L-5L-2L	0.000	3	0.218	0.218	0.009	0.000	0.227	0.642
1R-5L-2L	0.000	4	0.934	0.934	0.184	0.000	1.985	4.911
1L-1R-5L-2L	0.000	5	0.387	0.387	0.046	0.000	0.867	2.328
1L-1L-1R-5L-2L	0.000	6	0.394	0.394	0.040	0.000	0.434	1.453
6L-2L	0.000	7	0.945	0.945	0.125	0.000	1.070	3.162
7L-2L	0.000	8	0.754	0.754	0.084	0.000	0.838	2.105
5L-2L	3.650	9	2.239	2.239	0.761	0.000	26.056	45.731
2R-5L-2L	0.000	10	1.158	1.158	0.417	0.000	3.959	9.036
1L-2R-5L-2L	0.000	11	1.222	1.222	0.152	0.000	1.374	3.314
1R-2R-5L-2L	0.000	12	0.485	0.485	0.029	0.000	0.514	1.598
2R-2R-5L-2L	0.000	13	0.477	0.477	0.019	0.000	0.496	1.452
2L-5L-2L	0.000	14	0.628	0.628	0.027	0.000	0.655	1.456
3L-5L-2L	0.000	15	0.327	0.327	0.007	0.000	0.334	1.041
3R-5L-2L	0.000	16	2.541	2.541	0.563	0.000	9.635	20.249
1L-3R-5L-2L	0.000	17	0.308	0.308	0.004	0.000	0.312	0.695
2L-3R-5L-2L	0.000	18	1.555	1.555	0.114	0.000	1.840	3.641
1R-2L-3R-5L-2L	0.000	19	0.166	0.166	0.005	0.000	0.171	0.675
3L-3R-5L-2L	0.000	20	0.914	0.914	0.140	0.000	2.910	6.602
1L-3L-3R-5L-2L	0.000	21	1.719	1.719	0.137	0.000	1.856	4.286
4L-3R-5L-2L	0.000	22	0.119	0.119	0.002	0.000	0.121	0.402
5L-3R-5L-2L	0.000	23	0.623	0.623	0.082	0.000	1.348	3.402
1R-5L-3R-5L-2L	0.000	24	0.611	0.611	0.032	0.000	0.643	2.066
5L-2L	20.300	25	1.853	1.853	0.613	0.000	8.473	29.357
5L-5L-2L	0.000	26	1.692	1.692	0.200	0.000	3.097	6.254
1L-5L-5L-2L	0.000	27	1.160	1.160	0.045	0.000	1.205	2.359
4R-5L-2L	0.000	28	0.935	0.935	0.051	0.000	1.178	2.177
1R-4R-5L-2L	0.000	29	0.190	0.190	0.002	0.000	0.192	0.530
4L-5L-2L	0.000	30	0.864	0.864	0.127	0.000	1.732	5.287
1L-4L-5L-2L	0.000	31	0.383	0.383	0.004	0.000	0.387	0.649
3L-4L-5L-2L	0.000	32	0.351	0.351	0.003	0.000	0.354	0.659

EXPLANATION:

Name = ชื่อช่วงคลอง

Station = กม.เริ่มต้นของช่วงคลอง

CSN = รหัสของช่วงคลอง

Loss = ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลอง คิดจาก % QMax ต่อความยาว 1 กม.

QMin, QMax = ปริมาณน้ำต่ำสุดและสูงสุดในคลอง ลบ.ม./วินาที

Require = ความต้องการใช้น้ำของพืช ลบ.ม./วินาที (ปรับแก้ฝนและสภาพน้ำฯแล้ว)

Supply = ปริมาณน้ำที่จะส่งให้ ลบ.ม./วินาที (หลังจากทำ water balance แล้ว)

Disch. = ปริมาณน้ำเปิดผ่านอาคารชลประทาน ลบ.ม./วินาที (รวม Loss ด้วย)

OVERVIEW OF THE CALCULATED DISCHARGES

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM: Songphinong Irrigation Project

Year : 2003

Week : 16

Name	Station	CSN	Require	Supply	Loss	QMin	Disch.	QMax
2L	21.800	1	1.041	1.041	0.695	0.000	44.945	82.983
5L-2L	0.000	2	0.802	0.802	0.167	0.000	39.509	45.731
1L-5L-2L	0.000	3	0.400	0.400	0.009	0.000	0.409	0.642
1R-5L-2L	0.000	4	1.983	1.983	0.184	0.000	3.986	4.911
1L-1R-5L-2L	0.000	5	0.867	0.867	0.046	0.000	1.819	2.328
1L-1L-1R-5L-2L	0.000	6	0.866	0.866	0.040	0.000	0.906	1.453
6L-2L	0.000	7	1.947	1.947	0.125	0.000	2.072	3.162
7L-2L	0.000	8	1.544	1.544	0.084	0.000	1.628	2.105
5L-2L	3.650	9	4.889	4.889	0.761	0.000	34.145	45.731
2R-5L-2L	0.000	10	2.535	2.535	0.417	0.000	7.650	9.036
1L-2R-5L-2L	0.000	11	2.369	2.369	0.152	0.000	2.521	3.314
1R-2R-5L-2L	0.000	12	1.067	1.067	0.029	0.000	1.096	1.598
2R-2R-5L-2L	0.000	13	1.062	1.062	0.019	0.000	1.081	1.452
2L-5L-2L	0.000	14	0.955	0.955	0.027	0.000	0.982	1.456
3L-5L-2L	0.000	15	0.451	0.451	0.007	0.000	0.458	1.041
3R-5L-2L	0.000	16	2.577	2.577	0.563	0.000	9.741	20.249
1L-3R-5L-2L	0.000	17	0.278	0.278	0.004	0.000	0.282	0.695
2L-3R-5L-2L	0.000	18	1.429	1.429	0.114	0.000	1.707	3.641
1R-2L-3R-5L-2L	0.000	19	0.159	0.159	0.005	0.000	0.164	0.675
3L-3R-5L-2L	0.000	20	1.092	1.092	0.140	0.000	2.941	6.602
1L-3L-3R-5L-2L	0.000	21	1.572	1.572	0.137	0.000	1.709	4.286
4L-3R-5L-2L	0.000	22	0.192	0.192	0.002	0.000	0.194	0.402
5L-3R-5L-2L	0.000	23	0.804	0.804	0.082	0.000	1.477	3.402
1R-5L-3R-5L-2L	0.000	24	0.559	0.559	0.032	0.000	0.591	2.066
5L-2L	20.300	25	2.556	2.556	0.613	0.000	9.664	29.357
5L-5L-2L	0.000	26	1.524	1.524	0.200	0.000	2.796	6.254
1L-5L-5L-2L	0.000	27	1.027	1.027	0.045	0.000	1.072	2.359
4R-5L-2L	0.000	28	0.830	0.830	0.051	0.000	1.051	2.177
1R-4R-5L-2L	0.000	29	0.168	0.168	0.002	0.000	0.170	0.530
4L-5L-2L	0.000	30	1.517	1.517	0.127	0.000	2.648	5.287
1L-4L-5L-2L	0.000	31	0.555	0.555	0.004	0.000	0.559	0.649
3L-4L-5L-2L	0.000	32	0.442	0.442	0.003	0.000	0.445	0.659

EXPLANATION:

Name = ชื่อช่วงคลอง

Station = กม.เริ่มต้นของช่วงคลอง

CSN = รหัสของช่วงคลอง

Loss = ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลอง คิดจาก % QMax ต่อความยาว 1 กม.

QMin, QMax = ปริมาณน้ำต่ำสุดและสูงสุดในคลอง ลบ.ม./วินาที

Require = ความต้องการใช้น้ำของพืช ลบ.ม./วินาที (ปรับแก้ฝนและสภาพน้ำฯแล้ว)

Supply = ปริมาณน้ำที่จะส่งให้ ลบ.ม./วินาที (หลังจากทำ water balance แล้ว)

Disch. = ปริมาณน้ำเปิดผ่านอาคารชลประทาน ลบ.ม./วินาที (รวม Loss ด้วย)

OVERVIEW OF THE CALCULATED DISCHARGES

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM: Songphinong Irrigation Project

Year : 2003

Week : 22

Name	Station	CSN	Require	Supply	Loss	QMin	Disch.	QMax
2L	21.800	1	0.420	0.420	0.695	0.000	17.449	82.983
5L-2L	0.000	2	0.316	0.316	0.167	0.000	14.591	45.731
1L-5L-2L	0.000	3	0.165	0.165	0.009	0.000	0.174	0.642
1R-5L-2L	0.000	4	0.818	0.818	0.184	0.000	1.806	4.911
1L-1R-5L-2L	0.000	5	0.359	0.359	0.046	0.000	0.804	2.328
1L-1L-1R-5L-2L	0.000	6	0.359	0.359	0.040	0.000	0.399	1.453
6L-2L	0.000	7	0.771	0.771	0.125	0.000	0.896	3.162
7L-2L	0.000	8	0.763	0.763	0.084	0.000	0.847	2.105
5L-2L	3.650	9	2.620	2.620	0.761	0.000	12.128	45.731
2R-5L-2L	0.000	10	1.332	1.332	0.417	0.000	3.701	9.036
1L-2R-5L-2L	0.000	11	1.239	1.239	0.152	0.000	1.391	3.314
1R-2R-5L-2L	0.000	12	0.532	0.532	0.029	0.000	0.561	1.598
2R-2R-5L-2L	0.000	13	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	1.452
2L-5L-2L	0.000	14	0.465	0.465	0.027	0.000	0.492	1.456
3L-5L-2L	0.000	15	0.239	0.239	0.007	0.000	0.246	1.041
3R-5L-2L	0.000	16	0.000	0.000	0.563	0.000	0.000	20.249
1L-3R-5L-2L	0.000	17	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.695
2L-3R-5L-2L	0.000	18	0.000	0.000	0.114	0.000	0.000	3.641
1R-2L-3R-5L-2L	0.000	19	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.675
3L-3R-5L-2L	0.000	20	0.000	0.000	0.140	0.000	0.000	6.602
1L-3L-3R-5L-2L	0.000	21	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	4.286
4L-3R-5L-2L	0.000	22	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.402
5L-3R-5L-2L	0.000	23	0.000	0.000	0.082	0.000	0.000	3.402
1R-5L-3R-5L-2L	0.000	24	0.000	0.000	0.032	0.000	0.000	2.066
5L-2L	20.300	25	1.408	1.408	0.613	0.000	4.308	29.357
5L-5L-2L	0.000	26	0.126	0.126	0.200	0.000	0.461	6.254
1L-5L-5L-2L	0.000	27	0.090	0.090	0.045	0.000	0.135	2.359
4R-5L-2L	0.000	28	0.072	0.072	0.051	0.000	0.140	2.177
1R-4R-5L-2L	0.000	29	0.015	0.015	0.002	0.000	0.017	0.530
4L-5L-2L	0.000	30	0.788	0.788	0.127	0.000	1.686	5.287
1L-4L-5L-2L	0.000	31	0.295	0.295	0.004	0.000	0.299	0.649
3L-4L-5L-2L	0.000	32	0.469	0.469	0.003	0.000	0.472	0.659

EXPLANATION:

Name = ชื่อช่วงคลอง

Station = กม.เริ่มต้นของช่วงคลอง

CSN = รหัสของช่วงคลอง

Loss = ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลอง คิดจาก % QMax ต่อความยาว 1 กม.

QMin, QMax = ปริมาณน้ำต่ำสุดและสูงสุดในคลอง ลบ.ม./วินาที

Require = ความต้องการใช้น้ำของพืช ลบ.ม./วินาที (ปรับแก้ฝนและสภาพน้ำฯแล้ว)

Supply = ปริมาณน้ำที่จะส่งให้ ลบ.ม./วินาที (หลังจากทำ water balance แล้ว)

Disch. = ปริมาณน้ำเปิดผ่านอาคารชลประทาน ลบ.ม./วินาที (รวม Loss ด้วย)

OVERVIEW OF THE CALCULATED DISCHARGES

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM: Songphinong Irrigation Project

Year : 2003

Week : 23

Name	Station	CSN	Require	Supply	Loss	QMin	Disch.	QMax
2L	21.800	1	0.444	0.444	0.695	0.000	20.069	82.983
5L-2L	0.000	2	0.335	0.335	0.167	0.000	17.175	45.731
1L-5L-2L	0.000	3	0.170	0.170	0.009	0.000	0.179	0.642
1R-5L-2L	0.000	4	0.862	0.862	0.184	0.000	1.893	4.911
1L-1R-5L-2L	0.000	5	0.381	0.381	0.046	0.000	0.847	2.328
1L-1L-1R-5L-2L	0.000	6	0.380	0.380	0.040	0.000	0.420	1.453
6L-2L	0.000	7	0.807	0.807	0.125	0.000	0.932	3.162
7L-2L	0.000	8	0.739	0.739	0.084	0.000	0.823	2.105
5L-2L	3.650	9	0.705	0.705	0.761	0.000	14.601	45.731
2R-5L-2L	0.000	10	0.359	0.359	0.417	0.000	2.584	9.036
1L-2R-5L-2L	0.000	11	0.327	0.327	0.152	0.000	0.479	3.314
1R-2R-5L-2L	0.000	12	0.521	0.521	0.029	0.000	0.550	1.598
2R-2R-5L-2L	0.000	13	0.760	0.760	0.019	0.000	0.779	1.452
2L-5L-2L	0.000	14	0.116	0.116	0.027	0.000	0.143	1.456
3L-5L-2L	0.000	15	0.059	0.059	0.007	0.000	0.066	1.041
3R-5L-2L	0.000	16	1.648	1.648	0.563	0.000	6.714	20.249
1L-3R-5L-2L	0.000	17	0.183	0.183	0.004	0.000	0.187	0.695
2L-3R-5L-2L	0.000	18	0.929	0.929	0.114	0.000	1.155	3.641
1R-2L-3R-5L-2L	0.000	19	0.107	0.107	0.005	0.000	0.112	0.675
3L-3R-5L-2L	0.000	20	0.714	0.714	0.140	0.000	2.030	6.602
1L-3L-3R-5L-2L	0.000	21	1.039	1.039	0.137	0.000	1.176	4.286
4L-3R-5L-2L	0.000	22	0.138	0.138	0.002	0.000	0.140	0.402
5L-3R-5L-2L	0.000	23	0.519	0.519	0.082	0.000	0.991	3.402
1R-5L-3R-5L-2L	0.000	24	0.358	0.358	0.032	0.000	0.390	2.066
5L-2L	20.300	25	0.349	0.349	0.613	0.000	3.628	29.357
5L-5L-2L	0.000	26	0.815	0.815	0.200	0.000	1.611	6.254
1L-5L-5L-2L	0.000	27	0.551	0.551	0.045	0.000	0.596	2.359
4R-5L-2L	0.000	28	0.443	0.443	0.051	0.000	0.587	2.177
1R-4R-5L-2L	0.000	29	0.091	0.091	0.002	0.000	0.093	0.530
4L-5L-2L	0.000	30	0.205	0.205	0.127	0.000	0.468	5.287
1L-4L-5L-2L	0.000	31	0.074	0.074	0.004	0.000	0.078	0.649
3L-4L-5L-2L	0.000	32	0.055	0.055	0.003	0.000	0.058	0.659

EXPLANATION:

Name = ชื่อช่วงคลอง
Station = กม.เริ่มต้นของช่วงคลอง
CSN = รหัสของช่วงคลอง
Loss = ปริมาณน้ำที่สูญเสียในคลอง คิดจาก % QMax ต่อความยาว 1 กม.
QMin, QMax = ปริมาณน้ำต่ำสุดและสูงสุดในคลอง ลบ.ม./วินาที

Require = ความต้องการใช้น้ำของพืช ลบ.ม./วินาที (ปรับแก้ฝนและสภาพน้ำฯแล้ว)
Supply = ปริมาณน้ำที่จะส่งให้ ลบ.ม./วินาที (หลังจากทำ water balance แล้ว)
Disch. = ปริมาณน้ำเปิดผ่านอาคารชลประทาน ลบ.ม./วินาที (รวม Loss ด้วย)

CROPPING PATTERN

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : ชSongphinong Irrigation Project

รายงานประจำปี 2003 ฤดูที่ 1 (แล้ง)

CSN	CN	AREA	PW
1 :			
2L KM 21.800-30.175			
	1	75	6
	2	4,827	3
	3	220	6
	4	12	1
2 :			
5L-2L KM 0.000-3.650			
	1	45	6
	2	3,628	3
	3	140	6
	4	235	1
	5	25	1
3 :			
1L-5L-2L KM 0.000-5.665			
	1	200	6
	2	1,570	3
	3	50	6
	4	20	1
	5	125	1
4 :			
1R-5L-2L KM 0.000-14.972			
	1	325	6
	2	9,150	3
	3	185	6
	4	50	1
	5	50	1
5 :			
1L-1R-5L-2L KM 0.000-7.870			
	2	4,200	3
	3	40	6
	4	40	1
6 :			
1L-1L-1R-5L-2L KM 0.000-11.091			
	1	50	6
	2	4,125	3
	3	50	6
	4	30	1
	5	15	1
7 :			
5L-2L KM 0.000-15.789			
	1	500	6
	2	8,400	3
	3	500	6
	4	300	1
	5	40	1
8 :			
7L-2L KM 0.000-15.892			
	1	400	6
	2	6,780	3
	3	250	6
	4	150	1
	5	80	1
9 :			
5L-2L KM 3.650-20.300			
	1	320	6
	2	22,866	3
	3	528	6
	4	312	1
	5	169	1
10 :			
2R-5L-2L KM 0.000-18.467			
	1	125	6
	2	11,600	3
	3	500	6
	4	225	1
	5	150	1
11 :			
1L-2R-5L-2L KM 0.000-18.320			
	1	1,125	6
	2	9,745	3
	3	600	6
	4	225	1
	5	50	1
12 :			
1R-2R-5L-2L KM 0.000-7.156			
	1	25	6
	2	5,020	3
	3	90	6
	4	125	1
	5	50	1
13 :			
2R-2R-5L-2L KM 0.000-5.291			
	1	15	6
	2	4,950	3
	3	200	6
	4	35	1
	5	50	1
14 :			
2L-5L-2L KM 0.000-7.299			
	1	1,390	6
	2	2,581	3
	3	593	6
	4	227	1
15 :			
3L-5L-2L KM 0.000-2.756			
	1	833	6
	2	1,143	3
	3	140	6
	5	62	1
16 :			
3R-5L-2L KM 0.000-27.802			
	1	8,885	6
	2	1,664	3
	3	582	6
	4	798	1
	5	697	1
17 :			
1L-3R-5L-2L KM 0.000-2.060			
	1	1,173	6
	4	60	1
	5	99	1
18 :			
2L-3R-5L-2L KM 0.000-12.500			
	1	5,846	6
	2	106	3
	3	92	6
	4	212	1
	5	544	1
19 :			
1R-2L-3R-5L-2L KM 0.000-3.000			
	1	502	6
	5	244	1
20 :			
3L-3R-5L-2L KM 0.000-8.480			
	1	2,784	6
	2	1,902	3
	3	290	6
	4	174	1
	5	173	1

หมายเหตุ: ช่วงคลองเดียวกันมีรหัสพืชซ้ำกันและ PW เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 สัปดาห์ จะหมายถึงมีการติดตามผลการปลูกพืชรายสัปดาห์

คำอธิบาย: CSN = รหัสช่วงคลอง CN = รหัสพืช (ดูรายชื่อพืชได้จากรายงาน Crop Factor)

AREA = พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) PW = สัปดาห์เริ่มต้นปลูกพืช

CROPPING PATTERN

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : Songphinong Irrigation Project

รายงานประจำปี 2003 ฤดูที่ 1 (แล้ง)

CSN	CN	AREA	PW
21 :			
1L-3L-3R-5L-2L KM 0.000-12.800			
	1	6,270	6
	5	1,062	1
22 :			
4L-3R-5L-2L KM 0.000-1.650			
	1	228	6
	2	703	3
23 :			
5L-3R-5L-2L KM 0.000-9.620			
	1	1,565	6
	2	1,530	3
	3	309	6
	4	191	1
	5	382	1
24 :			
1R-5L-3R-5L-2L KM 0.000-6.240			
	1	2,331	6
	3	73	6
	5	210	1
25 :			
5L-2L KM 20.300-41.188			
	1	4,588	6
	2	7,183	3
	3	80	6
	4	475	1
	5	230	1
26 :			
5L-5L-2L KM 0.000-12.760			
	1	6,534	6
	2	28	3
	3	4	6
	4	396	1
	5	363	1
27 :			
1L-5L-5L-2L KM 0.000-7.640			
	1	4,677	6
	4	44	1
	5	84	1
28 :			
4R-5L-2L KM 0.000-9.450			
	1	3,760	6
	3	10	6
	4	114	1
	5	46	1
29 :			
1R-4R-5L-2L KM 0.000-1.870			
	1	760	6
	5	24	1
30 :			
4L-5L-2L KM 0.000-9.600			
	1	1,094	6
	2	5,564	3
	3	343	6
	4	409	1
	5	221	1
31 :			
1L-4L-5L-2L KM 0.000-2.299			
	1	856	6
	2	1,580	3
	3	114	6
	4	89	1
	5	92	1
32 :			
3L-4L-5L-2L KM 0.000-1.546			
	1	970	6
	2	903	3
	3	94	6
	4	265	1
	5	37	1

หมายเหตุ: ช่วงคลองเดียวกันมีรหัสพืชซ้ำกันและ PW เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 สัปดาห์ จะหมายถึงมีการติดตามผลการปลูกพืชรายสัปดาห์

คำอธิบาย: CSN = รหัสช่วงคลอง CN = รหัสพืช (ดูรายชื่อพืชได้จากรายงาน Crop Factor)

AREA = พื้นที่เพาะปลูก (ไร่) PW = สัปดาห์เริ่มต้นปลูกพืช

CROP FACTORS

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : Songphinong Irrigation Project

No.	CW	CF	LP	SUE	CW	CF	LP	SUE	CW	CF	LP	SUE
1. Paddy Dry					1	0.13	64	0.75	2	0.36	57	0.75
	3	0.57	51	0.75	4	0.76	43	0.75	5	0.91	36	0.75
	6	1.03	25	0.75	7	1.07	7	0.75	8	1.09	7	0.75
	9	1.10	7	0.75	10	1.10	7	0.75	11	1.10	7	0.75
	12	1.11	7	0.75	13	1.14	7	0.75	14	1.17	7	0.75
	15	1.20	7	0.75	16	1.21	7	0.75	17	1.17	7	0.75
	18	1.02	6	0.75	19	0.77	5	0.75	20	0.52	4	0.75
	21	0.30	2	0.75	22	0.10	1	0.75				
2. Suger Cane					1	0.40	0	0.70	2	0.50	0	0.70
	3	0.50	0	0.70	4	0.60	0	0.70	5	0.60	0	0.70
	6	0.70	0	0.70	7	0.70	0	0.70	8	0.80	0	0.70
	9	0.80	0	0.70	10	0.90	0	0.70	11	0.90	0	0.70
	12	1.00	0	0.70	13	1.00	0	0.70	14	1.10	0	0.70
	15	1.10	0	0.70	16	1.10	0	0.70	17	1.10	0	0.70
	18	1.20	0	0.70	19	1.20	0	0.70	20	1.20	0	0.70
	21	1.20	0	0.70	22	1.20	0	0.70	23	1.20	0	0.70
	24	1.20	0	0.70	25	1.20	0	0.70	26	1.20	0	0.70
	27	1.20	0	0.70	28	1.20	0	0.70	29	1.10	0	0.70
	30	1.00	0	0.70	31	0.90	0	0.70	32	0.80	0	0.70
	33	0.70	0	0.70	34	0.60	0	0.70	35	0.50	0	0.70
	36	0.40	0	0.70								
3. Field					1	0.30	0	0.50	2	0.30	0	0.50
	3	0.30	0	0.60	4	0.30	0	0.60	5	0.70	0	0.70
	6	0.70	0	0.70	7	0.70	0	0.70	8	0.90	0	0.70
	9	1.20	0	0.70	10	1.00	0	0.70	11	1.00	0	0.70
	12	0.70	0	0.70	13	0.50	0	0.70	14	0.50	0	0.60
	15	0.50	0	0.50								
4. Fruit-Tree					1	0.50	0	0.70	2	0.50	0	0.70
	3	0.50	0	0.70	4	0.50	0	0.70	5	0.50	0	0.70
	6	0.50	0	0.70	7	0.50	0	0.70	8	0.50	0	0.70
	9	0.50	0	0.70	10	0.50	0	0.70	11	0.50	0	0.70
	12	0.50	0	0.70	13	0.50	0	0.70	14	0.50	0	0.70
	15	0.50	0	0.70	16	0.50	0	0.70	17	0.50	0	0.70
	18	0.50	0	0.70	19	0.50	0	0.70	20	0.50	0	0.70
	21	0.50	0	0.70	22	0.50	0	0.70	23	0.50	0	0.70
	24	0.50	0	0.70	25	0.50	0	0.70	26	0.50	0	0.70
	27	0.50	0	0.70	28	0.50	0	0.70	29	0.50	0	0.70
	30	0.50	0	0.70	31	0.50	0	0.70	32	0.50	0	0.70
	33	0.50	0	0.70	34	0.50	0	0.70	35	0.50	0	0.70
	36	0.50	0	0.70	37	0.50	0	0.70	38	0.50	0	0.70
	39	0.50	0	0.70	40	0.50	0	0.70	41	0.50	0	0.70
	42	0.50	0	0.70	43	0.50	0	0.70	44	0.50	0	0.70
	45	0.50	0	0.70	46	0.50	0	0.70	47	0.50	0	0.70
	48	0.50	0	0.70	49	0.50	0	0.70	50	0.50	0	0.70
	51	0.50	0	0.70	52	0.50	0	0.70				

EXPLANATION : CW = Crop Week ; CF = Crop Factor ; LP = Land Preparation + Percolation ; SUE = Survice Unit Efficiency

CROP FACTORS

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : ๑Songphinong Irrigation Project

No.	CW	CF	LP	SUE	CW	CF	LP	SUE	CW	CF	LP	SUE
5. Fish-Farm					1	1.00	7	0.70	2	1.00	7	0.70
	3	1.00	7	0.70	4	1.00	7	0.70	5	1.00	7	0.70
	6	1.00	7	0.70	7	1.00	7	0.70	8	1.00	7	0.70
	9	1.00	7	0.70	10	1.00	7	0.70	11	1.00	7	0.70
	12	1.00	7	0.70	13	1.00	7	0.70	14	1.00	7	0.70
	15	1.00	7	0.70	16	1.00	7	0.70	17	1.00	7	0.70
	18	1.00	7	0.70	19	1.00	7	0.70	20	1.00	7	0.70
	21	1.00	7	0.70	22	1.00	7	0.70	23	1.00	7	0.70
	24	1.00	7	0.70	25	1.00	7	0.70	26	1.00	7	0.70
	27	1.00	7	0.70	28	1.00	7	0.70	29	1.00	7	0.70
	30	1.00	7	0.70	31	1.00	7	0.70	32	1.00	7	0.70
	33	1.00	7	0.70	34	1.00	7	0.70	35	1.00	7	0.70
	36	1.00	7	0.70	37	1.00	7	0.70	38	1.00	7	0.70
	39	1.00	7	0.70	40	1.00	7	0.70	41	1.00	7	0.70
	42	1.00	7	0.70	43	1.00	7	0.70	44	1.00	7	0.70
	45	1.00	7	0.70	46	1.00	7	0.70	47	1.00	7	0.70
	48	1.00	7	0.70	49	1.00	7	0.70	50	1.00	7	0.70
	51	1.00	7	0.70	52	1.00	7	0.70				

EXPLANATION : CW = Crop Week ; CF = Crop Factor ; LP = Land Preparation + Percolation ; SUE = Survice Unit Efficiency

MONTHLY EVAPOTRANSPIRATION

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : Songphinong Irrigation Project

YEAR	ETo Station	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
2003													
	1. Kanchanaburi	137	161	198	193	153	124	125	122	111	113	119	131
	2. Uthong	148	170	223	232	209	177	177	165	142	143	143	143
	3. Kampaeng Saen	137	161	207	208	183	151	156	143	134	141	134	136

WEEKLY EXPECTED RAINFALL

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : ชSongphinong Irrigation Project

Year	Rain Station	Week 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
2003														
	1. Head Office (2626)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
		0	0	0	14	1	29	45	0	23	18	18	42	29
		51	16	3	44	2	8	8	14	14	14	27	73	97
		11	66	15	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2. Tab Ka Dan (2803)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
		0	0	0	0	0	49	64	0	18	15	40	71	16
		59	37	0	33	6	0	21	11	7	39	45	75	118
		44	78	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3. Hauy Kod (2804)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0
		0	0	0	2	0	50	7	6	16	34	0	26	46
		47	11	0	36	0	10	0	35	16	22	18	221	88
		44	60	14	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4. Sa Yai Som (2806)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	6	17	54	18	0	68	2	16	76	16
		62	17	1	41	1	0	9	14	31	9	22	91	104
		27	80	5	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5. Jorake Sampan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0
		0	0	0	7	11	56	0	6	46	9	0	70	31
		70	49	0	34	11	0	5	17	32	25	96	65	65
		61	79	137	40	25	0	0	0	0	0	0	0	0

EFFECTIVE RAINFALL EQUATION

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : ชSongphinong Irrigation Project

YEAR	CN	MONTH	R1	A1	B1
2003					
	1. Paddy Dry				
		1	59.0	0.55	26.10
		2	59.0	0.55	26.10
		3	59.0	0.55	26.10
		4	59.0	0.55	26.10
		5	53.0	0.44	29.68
		6	55.0	0.46	29.70
		7	60.0	0.75	15.00
		8	50.0	0.56	22.00
		9	42.0	0.39	25.62
		10	30.0	0.25	22.50
		11	59.0	0.55	26.10
		12	59.0	0.55	26.10
	2. Suger Cane				
		1	29.0	0.78	6.38
		2	29.0	0.78	6.38
		3	29.0	0.78	6.38
		4	29.0	0.78	6.38
		5	25.0	0.63	9.25
		6	27.0	0.70	8.10
		7	26.0	0.65	9.10
		8	25.0	0.64	9.00
		9	22.0	0.42	12.76
		10	18.0	0.27	13.14
		11	29.0	0.78	6.38
		12	29.0	0.78	6.38
	3. Field				
		1	29.0	0.78	6.38
		2	29.0	0.78	6.38
		3	29.0	0.78	6.38
		4	29.0	0.78	6.38
		5	25.0	0.63	9.25
		6	27.0	0.70	8.10
		7	26.0	0.65	9.10
		8	25.0	0.64	9.00
		9	22.0	0.42	12.76
		10	18.0	0.27	13.14
		11	29.0	0.78	6.38
		12	29.0	0.78	6.38
	4. Fruit-Tree				
		1	29.0	0.78	6.38
		2	29.0	0.78	6.38
		3	29.0	0.78	6.38
		4	29.0	0.78	6.38
		5	25.0	0.63	9.25
		6	27.0	0.70	8.10
		7	26.0	0.65	9.10
		8	25.0	0.64	9.00
		9	22.0	0.42	12.76
		10	18.0	0.27	13.14
		11	29.0	0.78	6.38
		12	29.0	0.78	6.38
	5. Fish-Farm				
		1	99.0	0.00	0.00
		2	99.0	0.00	0.00
		3	99.0	0.00	0.00
		4	99.0	0.00	0.00
		5	99.0	0.00	0.00
		6	99.0	0.00	0.00
		7	99.0	0.00	0.00
		8	99.0	0.00	0.00
		9	99.0	0.00	0.00
		10	99.0	0.00	0.00
		11	99.0	0.00	0.00
		12	99.0	0.00	0.00

WEEKLY ACTUAL RAINFALL

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : Songphinong Irrigation Project

Year	Rain Station	Week 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
2003														
	1. Head Office (2626)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
		0	0	0	14	1	29	45	0	23	18	18	42	29
		51	16	3	44	2	8	8	14	14	14	27	73	97
		11	66	15	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2. Tab Ka Dan (2803)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
		0	0	0	0	0	49	64	0	18	15	40	71	16
		59	37	0	33	6	0	21	11	7	39	45	75	118
		44	78	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3. Hauy Kod (2804)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0
		0	0	0	2	0	50	7	6	16	34	0	26	46
		47	11	0	36	0	10	0	35	16	22	18	221	88
		44	60	14	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4. Sa Yai Som (2806)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	6	17	54	18	0	68	2	16	76	16
		62	17	1	41	1	0	9	14	31	9	22	91	104
		27	80	5	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5. Jorake Sampan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0
		0	0	0	7	11	56	0	6	46	9	0	70	31
		70	49	0	34	11	0	5	17	32	25	96	65	65
		61	79	137	40	25	0	0	0	0	0	0	0	0

SIMULATION OF THE REQUIRED PROJECT DISCHARGE

DATE: 16/03/2007

IRRIGATION SYSTEM : Songphinong Irrigation Project

YEAR	SEASON	WEEK	Q(cms.)	YEAR	SEASON	WEEK	Q(cms.)
2003	DRY						
		6	30.714				
		7	31.168				
		8	33.365				
		9	35.798				
		10	31.718				
		11	38.157				
		12	36.924				
		13	37.325				
		14	41.260				
		15	41.044				
		16	43.209				
		17	39.142				
		18	33.306				
		19	8.117				
		20	26.961				
		21	36.821				
		22	16.094				
	Total for dry season =		561.123 cms.				
	Total Required Volume =		339.366 mcm.				
	Total for 2003 =		561.123 cms.				
	Total Required Volume =		339.366 mcm.				

ภาคผนวก ข

แสดงไฟล์ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง GAWA-2004

ไฟล์ข้อมูลนำเข้า Projfile.lst

network.txt

inflow.txt

Demand6.txt

ไฟล์ข้อมูลนำเข้า network.txt

```
Songphinong Network
33
1    2    3    4    5    6    7    8    9    10   11   12
     13   14   15   16   17   18   19   20   21   22   23
     24   25   26   27   28   29   30   31   32   33
1
33
32
1    2    3    4    5    6    7    8    9    10   11   12   13
     14   15   16   17   18   19   20   21   22   23   24
     25   26   27   28   29   30   31   32
Connection Index
          1    2    3    4    5    6    7    8    9    10
     11   12   13   14   15   16   17   18   19   20   21
     22   23   24   25   26   27   28   29   30   31   32
     33
1    0    -1   0    0    0    0    -1   -1   0    0    0
     0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
     0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    -1
2    1    0    -1   -1   0    0    0    0    -1   0    0
     0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
     0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
3    0    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0
     0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
     0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
```

4	0	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1
	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	-1
	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	-1	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	-1	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
33	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Reach Capacity

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	0	45.731	0	0	0	0	3.162	2.105	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	82.983										
2	45.731	0	0.642	4.911	0	0	0	0	45.731	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0.642	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	4.911	0	0	2.328	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	2.328	0	1.453	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1.453	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	3.162	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2.105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

9	0	45.731	0	0	0	0	0	0	0	9.036	0
	0	0	1.456	1.041	20.249	0	0	0	0	0	0
	0	0	29.357	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	9.036	0	
	3.314	1.598	1.452	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0										
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.314	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.598	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.452	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1.456	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	1.041	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	20.249	0	0
	0	0	0	0	0	0.695	3.641	0	6.602	0	
	0.402	3.402	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0										
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0.695	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	3.641	0	0	0.675	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0.675	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	6.602	0	0	0	0	4.286	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	4.286	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0.402	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	3.402	0	0	0	0	0	0
	0	2.066	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.066	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	29.357	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	6.254	0	2.177	0	5.287	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	6.254	0	2.359	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	2.359	0	0	0	0	0	0	0

28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	2.177	0	0	0	0.53	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0.53	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	5.287	0	0	0	0	0	0.649	0.659	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0.649	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0.659	0	0	0
33	82.983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Reach Number

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
1	0	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2	1	0	5	6	0	0	0	0	7	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4	0	6	0	0	8	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	8	0	9	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	7	0	0	0	0	0	0	0	10	0
	0	0	11	12	13	0	0	0	0	0	0
	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	15
	16	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

14	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0
	0	0	0	0	0	18	19	0	20	0	21
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	19	0	0	23	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	20	0	0	0	0	24	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0
	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	26	0	27	0	28	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	26	0	29	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	27	0	0	0	30	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	28	0	0	0	0	0	31	32	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0
33	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ไฟล์ข้อมูลนำเข้า input.txt

Songphinong Inflow

1

33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
31.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

ไฟล์ข้อมูลนำเข้าความต้องการน้ำ demand.txt

Songphinong Demand

1

33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	
1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.07	0.838	3.0	1.575	1.374	
	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312	1.669	0.171	1.054	1.856	
	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	
	0.354	0.0									

ไฟล์ข้อมูลนำเข้าความจุคลองต่ำสุด-สูงสุด test.txt

0	45.731
0	3.162
0	2.105
0	82.983

0	0.642
0	4.911
0	45.731
0	2.328
0	1.453
0	9.036
0	1.456
0	1.041
0	20.249
0	29.357
0	3.314
0	1.598
0	1.452
0	0.695
0	3.641
0	6.602
0	0.402
0	3.402
0	0.675
0	4.286
0	2.066
0	6.254
0	2.177
0	5.287
0	2.359
0	0.53
0	0.649
0	0.659

ไฟล์ข้อมูลนำเข้าคลองระบายน้ำ Flag6no.dat

0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
0
1

ภาคผนวก ค

แสดงผลข้อมูลจากการรันแบบจำลอง GAWA-2004

ตารางผนวกที่ ค1 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 60%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.603	0.594	0.594	0.602	0.595	0.596	0.604	0.599	0.600	0.597	0.600	0.593	0.599	0.601	0.603	0.601	0.600
nodeftnss	0.184	0.089	0.037	0.177	0.071	0.071	0.168	0.135	0.480	0.256	0.219	0.085	0.080	0.104	0.053	0.495	0.050
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-18.413	0.320	0.135	0.673	0.257	0.258	0.646	0.502	1.801	0.940	0.825	0.305	0.297	0.394	0.201	1.865	0.187
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.703	0.320	0.135	0.673	0.257	0.258	0.646	0.502	1.801	0.940	0.825	0.305	0.297	0.394	0.201	1.865	0.187
Demand	1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.070	0.838	3.000	1.575	1.374	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312
Flow	17.265	0.646	0.502	0.000	0.135	1.189	15.622	0.516	0.258	2.367	0.394	0.201	5.777	5.082	0.825	0.305	0.297

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.601	0.603	0.598	0.597	0.618	0.601	0.597	0.598	0.604	0.599	0.600	0.590	0.599	0.601	0.601	0.000
nodeftnss	0.266	0.027	0.170	0.302	0.018	0.112	0.105	0.399	0.297	0.194	0.158	0.032	0.159	0.062	0.056	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.002	0.103	0.630	1.107	0.075	0.424	0.384	1.474	1.143	0.722	0.591	0.113	0.594	0.233	0.213	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.002	0.103	0.630	1.107	0.075	0.424	0.384	1.474	1.143	0.722	0.591	0.113	0.594	0.233	0.213	0.000
Demand	1.669	0.171	1.054	1.856	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	0.354	0.000
Flow	0.187	1.105	1.738	0.075	0.807	0.103	1.107	0.384	1.864	0.704	1.039	0.722	0.113	0.233	0.213	0.000

ตารางผนวกที่ ค2 ผลการคำนวณด้วย แบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 70%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.705	0.698	0.697	0.699	0.701	0.692	0.704	0.702	0.700	0.698	0.700	0.697	0.694	0.700	0.699	0.698	0.695
nodeftnss	0.101	0.049	0.021	0.101	0.039	0.041	0.094	0.075	0.270	0.144	0.123	0.047	0.046	0.059	0.030	0.283	0.029
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-21.480	0.375	0.158	0.781	0.303	0.301	0.753	0.588	2.100	1.100	0.962	0.358	0.344	0.458	0.233	2.167	0.217
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.822	0.375	0.158	0.781	0.303	0.301	0.753	0.588	2.100	1.100	0.962	0.358	0.344	0.458	0.233	2.167	0.217
Demand	1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.070	0.838	3.000	1.575	1.374	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312
Flow	20.139	0.753	0.588	0.000	0.158	1.385	18.220	0.604	0.301	2.764	0.458	0.233	6.736	5.928	0.962	0.358	0.344

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.700	0.701	0.697	0.701	0.697	0.703	0.698	0.701	0.697	0.700	0.699	0.706	0.698	0.701	0.701	0.000
nodeftnss	0.151	0.015	0.097	0.166	0.011	0.062	0.059	0.220	0.173	0.108	0.090	0.017	0.090	0.035	0.032	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.168	0.120	0.735	1.302	0.084	0.495	0.449	1.730	1.319	0.843	0.689	0.136	0.692	0.271	0.248	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.168	0.120	0.735	1.302	0.084	0.495	0.449	1.730	1.319	0.843	0.689	0.136	0.692	0.271	0.248	0.000
Demand	1.669	0.171	1.054	1.856	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	0.354	0.000
Flow	0.217	1.287	2.037	0.084	0.944	0.120	1.302	0.449	2.163	0.824	1.211	0.843	0.136	0.271	0.248	0.000

ารางผนวกที่ ค3 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 80%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.804	0.802	0.796	0.799	0.799	0.795	0.803	0.802	0.799	0.802	0.798	0.800	0.797	0.798	0.799	0.800	0.801
nodeftnss	0.045	0.021	0.009	0.045	0.018	0.018	0.042	0.033	0.121	0.062	0.056	0.020	0.021	0.027	0.013	0.125	0.012
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-24.550	0.432	0.181	0.893	0.346	0.345	0.859	0.672	2.398	1.262	1.097	0.411	0.395	0.522	0.267	2.482	0.250
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.938	0.432	0.181	0.893	0.346	0.345	0.859	0.672	2.398	1.262	1.097	0.411	0.395	0.522	0.267	2.482	0.250
Demand	1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.070	0.838	3.000	1.575	1.374	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312
Flow	23.019	0.859	0.672	0.000	0.181	1.584	20.823	0.691	0.345	3.166	0.522	0.267	7.696	6.773	1.097	0.411	0.395

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.797	0.801	0.797	0.800	0.792	0.799	0.798	0.799	0.800	0.798	0.799	0.798	0.798	0.807	0.802	0.000
nodeftnss	0.069	0.007	0.044	0.074	0.005	0.029	0.026	0.100	0.076	0.049	0.040	0.008	0.040	0.014	0.014	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.330	0.137	0.840	1.485	0.096	0.563	0.513	1.970	1.513	0.962	0.788	0.153	0.791	0.312	0.284	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.330	0.137	0.840	1.485	0.096	0.563	0.513	1.970	1.513	0.962	0.788	0.153	0.791	0.312	0.284	0.000
Demand	1.669	0.171	1.054	1.856	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	0.354	0.000
Flow	0.250	1.467	2.325	0.096	1.076	0.137	1.485	0.513	2.475	0.941	1.387	0.962	0.153	0.312	0.284	0.000

ตารางผนวกที่ ค4 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 90%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.901	0.905	0.901	0.899	0.897	0.896	0.900	0.900	0.899	0.898	0.900	0.899	0.905	0.902	0.898	0.900	0.900
nodeftnss	0.012	0.005	0.002	0.011	0.005	0.005	0.011	0.008	0.031	0.016	0.014	0.005	0.005	0.006	0.003	0.031	0.003
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-27.624	0.487	0.205	1.006	0.388	0.389	0.963	0.755	2.697	1.414	1.236	0.462	0.449	0.591	0.300	2.792	0.281
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.050	0.487	0.205	1.006	0.388	0.389	0.963	0.755	2.697	1.414	1.236	0.462	0.449	0.591	0.300	2.792	0.281
Demand	1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.070	0.838	3.000	1.575	1.374	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312
Flow	25.907	0.963	0.755	0.000	0.205	1.783	23.433	0.777	0.389	3.562	0.591	0.300	8.667	7.616	1.236	0.462	0.449

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.900	0.897	0.900	0.900	0.901	0.897	0.897	0.901	0.898	0.899	0.896	0.899	0.899	0.899	0.897	0.000
nodeftnss	0.017	0.002	0.010	0.018	0.001	0.007	0.007	0.024	0.020	0.012	0.011	0.002	0.010	0.004	0.004	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.503	0.153	0.949	1.671	0.109	0.632	0.577	2.221	1.700	1.083	0.883	0.173	0.891	0.348	0.318	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.503	0.153	0.949	1.671	0.109	0.632	0.577	2.221	1.700	1.083	0.883	0.173	0.891	0.348	0.318	0.000
Demand	1.669	0.171	1.054	1.856	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	0.354	0.000
Flow	0.281	1.656	2.620	0.109	1.209	0.153	1.671	0.577	2.783	1.056	1.557	1.083	0.173	0.348	0.318	0.000

ตารางผนวกที่ ค5 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 100%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.997	0.995	0.995	0.994	0.992	0.999	0.998	0.997	0.997	0.995	0.996	0.993	0.997	0.998	0.992	0.996	0.997
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-30.697	0.535	0.226	1.112	0.429	0.433	1.067	0.835	2.991	1.566	1.368	0.510	0.495	0.654	0.331	3.092	0.311
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.163	0.535	0.226	1.112	0.429	0.433	1.067	0.835	2.991	1.566	1.368	0.510	0.495	0.654	0.331	3.092	0.311
Demand	1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.070	0.838	3.000	1.575	1.374	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312
Flow	28.676	1.067	0.835	0.119	0.226	1.975	25.940	0.863	0.433	3.940	0.654	0.331	9.592	8.433	1.368	0.510	0.495

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.996	0.997	0.994	0.994	0.990	0.998	0.994	0.993	0.995	0.997	0.998	0.995	0.997	0.997	0.991	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.663	0.170	1.048	1.845	0.120	0.704	0.639	2.449	1.883	1.201	0.984	0.191	0.988	0.386	0.351	0.119
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.119
Supply	1.663	0.170	1.048	1.845	0.120	0.704	0.639	2.449	1.883	1.201	0.984	0.191	0.988	0.386	0.351	0.000
Demand	1.669	0.171	1.054	1.856	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	0.354	0.000
Flow	0.311	1.833	2.893	0.120	1.343	0.170	1.845	0.639	3.084	1.175	1.725	1.201	0.191	0.386	0.351	0.000

ตารางผนวกที่ ค6 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 120%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.996	0.992	0.983	0.996	0.989	0.991	0.994	0.997	0.995	0.993	0.992	0.996	0.990	0.995	0.995	0.993	0.997
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-37.071	0.534	0.223	1.114	0.428	0.430	1.064	0.835	2.984	1.565	1.363	0.512	0.491	0.651	0.332	3.083	0.311
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.161	0.534	0.223	1.114	0.428	0.430	1.064	0.835	2.984	1.565	1.363	0.512	0.491	0.651	0.332	3.083	0.311
Demand	1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.070	0.838	3.000	1.575	1.374	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312
Flow	28.624	1.064	0.835	6.548	0.223	1.972	25.895	0.859	0.430	3.931	0.651	0.332	9.580	8.416	1.363	0.512	0.491

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.994	1.000	0.993	0.996	0.994	0.995	0.993	0.994	0.994	0.990	0.995	0.983	0.994	0.994	0.988	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.659	0.171	1.046	1.849	0.120	0.702	0.638	2.452	1.881	1.193	0.981	0.189	0.986	0.385	0.350	6.548
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.548
Supply	1.659	0.171	1.046	1.849	0.120	0.702	0.638	2.452	1.881	1.193	0.981	0.189	0.986	0.385	0.350	0.000
Demand	1.669	0.171	1.054	1.856	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	0.354	0.000
Flow	0.311	1.830	2.896	0.120	1.340	0.171	1.849	0.638	3.074	1.169	1.720	1.193	0.189	0.385	0.350	0.000

ตารางผนวกที่ ค7 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 6 (inflow = 150%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.998	0.997	0.989	0.996	0.993	0.995	0.996	0.995	0.997	0.996	0.997	0.993	0.992	0.994	0.993	0.995	0.993
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-46.626	0.536	0.225	1.114	0.430	0.432	1.066	0.834	2.990	1.568	1.370	0.510	0.492	0.651	0.332	3.089	0.310
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.164	0.536	0.225	1.114	0.430	0.432	1.066	0.834	2.990	1.568	1.370	0.510	0.492	0.651	0.332	3.089	0.310
Demand	1.166	0.538	0.227	1.118	0.433	0.434	1.070	0.838	3.000	1.575	1.374	0.514	0.496	0.655	0.334	3.104	0.312
Flow	28.675	1.066	0.834	16.052	0.225	1.975	25.939	0.861	0.432	3.941	0.651	0.332	9.590	8.436	1.370	0.510	0.492

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.995	0.991	0.999	0.995	0.994	0.995	0.993	0.997	0.996	0.998	0.994	0.995	0.995	0.994	0.991	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.661	0.169	1.053	1.847	0.120	0.702	0.639	2.457	1.884	1.202	0.980	0.191	0.986	0.385	0.351	16.052
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	16.052
Supply	1.661	0.169	1.053	1.847	0.120	0.702	0.639	2.457	1.884	1.202	0.980	0.191	0.986	0.385	0.351	0.000
Demand	1.669	0.171	1.054	1.856	0.121	0.705	0.643	2.466	1.892	1.205	0.986	0.192	0.991	0.387	0.354	0.000
Flow	0.310	1.830	2.899	0.120	1.340	0.169	1.847	0.639	3.086	1.171	1.721	1.202	0.191	0.385	0.351	0.000

ตารางผนวกที่ ค8 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 60%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.606	0.603	0.595	0.600	0.602	0.600	0.602	0.604	0.601	0.599	0.597	0.598	0.597	0.600	0.601	0.601	0.596
nodeftnss	0.269	0.153	0.067	0.347	0.144	0.145	0.328	0.256	0.902	0.475	0.408	0.177	0.175	0.157	0.073	0.500	0.046
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-25.915	0.584	0.243	1.299	0.550	0.544	1.248	0.983	3.393	1.768	1.506	0.655	0.646	0.589	0.275	1.887	0.168
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.052	0.584	0.243	1.299	0.550	0.544	1.248	0.983	3.393	1.768	1.506	0.655	0.646	0.589	0.275	1.887	0.168
Demand	1.736	0.969	0.409	2.167	0.913	0.906	2.072	1.628	5.650	2.952	2.521	1.096	1.081	0.982	0.458	3.140	0.282
Flow	23.684	1.248	0.983	0.000	0.243	2.393	20.463	1.094	0.544	4.576	0.589	0.275	5.845	5.785	1.506	0.655	0.646

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.601	0.598	0.600	0.599	0.607	0.599	0.597	0.598	0.599	0.600	0.597	0.604	0.598	0.592	0.606	0.000
nodeftnss	0.245	0.027	0.197	0.275	0.030	0.142	0.096	0.511	0.277	0.172	0.143	0.027	0.266	0.093	0.069	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.928	0.098	0.740	1.023	0.118	0.531	0.353	1.896	1.033	0.643	0.526	0.103	0.983	0.331	0.270	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.928	0.098	0.740	1.023	0.118	0.531	0.353	1.896	1.033	0.643	0.526	0.103	0.983	0.331	0.270	0.000
Demand	1.543	0.164	1.232	1.709	0.194	0.886	0.591	3.169	1.724	1.072	0.881	0.170	1.644	0.559	0.445	0.000
Flow	0.168	1.026	1.763	0.118	0.884	0.098	1.023	0.353	1.676	0.629	1.584	0.643	0.103	0.331	0.270	0.000

ตารางผนวกที่ ค9 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 70%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.704	0.699	0.701	0.698	0.700	0.696	0.703	0.702	0.700	0.698	0.701	0.700	0.701	0.699	0.696	0.700	0.698
nodeftnss	0.152	0.088	0.037	0.197	0.082	0.084	0.182	0.144	0.508	0.269	0.225	0.099	0.097	0.089	0.042	0.283	0.026
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-30.237	0.678	0.287	1.513	0.639	0.631	1.457	1.144	3.956	2.061	1.767	0.767	0.757	0.686	0.319	2.197	0.197
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.223	0.678	0.287	1.513	0.639	0.631	1.457	1.144	3.956	2.061	1.767	0.767	0.757	0.686	0.319	2.197	0.197
Demand	1.736	0.969	0.409	2.167	0.913	0.906	2.072	1.628	5.650	2.952	2.521	1.096	1.081	0.982	0.458	3.140	0.282
Flow	27.637	1.457	1.144	0.000	0.287	2.783	23.889	1.270	0.631	5.353	0.686	0.319	6.815	6.761	1.767	0.767	0.757

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.701	0.704	0.701	0.697	0.695	0.702	0.696	0.701	0.700	0.696	0.700	0.699	0.700	0.698	0.697	0.000
nodeftnss	0.138	0.014	0.110	0.156	0.018	0.078	0.055	0.284	0.155	0.099	0.079	0.015	0.148	0.051	0.041	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.081	0.115	0.864	1.192	0.135	0.622	0.411	2.221	1.207	0.746	0.617	0.119	1.151	0.390	0.310	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.081	0.115	0.864	1.192	0.135	0.622	0.411	2.221	1.207	0.746	0.617	0.119	1.151	0.390	0.310	0.000
Demand	1.543	0.164	1.232	1.709	0.194	0.886	0.591	3.169	1.724	1.072	0.881	0.170	1.644	0.559	0.445	0.000
Flow	0.197	1.197	2.056	0.135	1.034	0.115	1.192	0.411	1.953	0.735	1.852	0.746	0.119	0.390	0.310	0.000

ตารางผนวกที่ ค10 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 80%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.803	0.801	0.805	0.800	0.794	0.798	0.802	0.802	0.801	0.799	0.798	0.800	0.799	0.800	0.799	0.799	0.799
nodeftnss	0.067	0.038	0.016	0.087	0.039	0.037	0.081	0.064	0.224	0.120	0.102	0.044	0.043	0.039	0.019	0.127	0.011
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-34.565	0.776	0.329	1.734	0.725	0.723	1.662	1.306	4.525	2.358	2.013	0.877	0.864	0.786	0.366	2.507	0.225
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.395	0.776	0.329	1.734	0.725	0.723	1.662	1.306	4.525	2.358	2.013	0.877	0.864	0.786	0.366	2.507	0.225
Demand	1.736	0.969	0.409	2.167	0.913	0.906	2.072	1.628	5.650	2.952	2.521	1.096	1.081	0.982	0.458	3.140	0.282
Flow	31.597	1.662	1.306	0.000	0.329	3.181	27.310	1.448	0.723	6.112	0.786	0.366	7.789	7.732	2.013	0.877	0.864

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.800	0.804	0.801	0.800	0.803	0.800	0.799	0.800	0.800	0.802	0.801	0.806	0.799	0.803	0.797	0.000
nodeftnss	0.062	0.006	0.049	0.068	0.008	0.035	0.024	0.127	0.069	0.042	0.035	0.006	0.066	0.022	0.018	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.234	0.132	0.987	1.367	0.156	0.709	0.472	2.534	1.379	0.860	0.705	0.137	1.314	0.449	0.355	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.234	0.132	0.987	1.367	0.156	0.709	0.472	2.534	1.379	0.860	0.705	0.137	1.314	0.449	0.355	0.000
Demand	1.543	0.164	1.232	1.709	0.194	0.886	0.591	3.169	1.724	1.072	0.881	0.170	1.644	0.559	0.445	0.000
Flow	0.225	1.366	2.354	0.156	1.181	0.132	1.367	0.472	2.238	0.842	2.117	0.860	0.137	0.449	0.355	0.000

ตารางผนวกที่ ค11 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 90%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.902	0.901	0.900	0.900	0.901	0.895	0.901	0.902	0.900	0.900	0.899	0.899	0.901	0.900	0.903	0.901	0.900
nodeftnss	0.017	0.009	0.004	0.022	0.009	0.010	0.020	0.016	0.056	0.030	0.026	0.011	0.011	0.010	0.004	0.031	0.003
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-38.884	0.873	0.368	1.949	0.822	0.811	1.867	1.469	5.086	2.656	2.267	0.985	0.974	0.883	0.414	2.829	0.254
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.566	0.873	0.368	1.949	0.822	0.811	1.867	1.469	5.086	2.656	2.267	0.985	0.974	0.883	0.414	2.829	0.254
Demand	1.736	0.969	0.409	2.167	0.913	0.906	2.072	1.628	5.650	2.952	2.521	1.096	1.081	0.982	0.458	3.140	0.282
Flow	35.549	1.867	1.469	0.000	0.368	3.583	30.724	1.633	0.811	6.881	0.883	0.414	8.764	8.696	2.267	0.985	0.974

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.899	0.899	0.899	0.900	0.901	0.899	0.896	0.901	0.898	0.899	0.900	0.898	0.899	0.903	0.902	0.000
nodeftnss	0.016	0.002	0.013	0.017	0.002	0.009	0.006	0.031	0.018	0.011	0.009	0.002	0.017	0.005	0.004	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.387	0.147	1.108	1.539	0.175	0.796	0.530	2.855	1.549	0.964	0.793	0.153	1.477	0.505	0.401	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.387	0.147	1.108	1.539	0.175	0.796	0.530	2.855	1.549	0.964	0.793	0.153	1.477	0.505	0.401	0.000
Demand	1.543	0.164	1.232	1.709	0.194	0.886	0.591	3.169	1.724	1.072	0.881	0.170	1.644	0.559	0.445	0.000
Flow	0.254	1.535	2.647	0.175	1.326	0.147	1.539	0.530	2.512	0.945	2.383	0.964	0.153	0.505	0.401	0.000

ตารางผนวกที่ ค12 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 100%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.998	0.998	0.996	0.997	0.996	0.996	0.999	0.998	0.997	0.996	0.997	0.999	0.997	0.996	0.999	0.997	0.996
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-43.212	0.967	0.407	2.161	0.909	0.903	2.071	1.624	5.633	2.941	2.513	1.095	1.078	0.978	0.457	3.129	0.281
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.733	0.967	0.407	2.161	0.909	0.903	2.071	1.624	5.633	2.941	2.513	1.095	1.078	0.978	0.457	3.129	0.281
Demand	1.736	0.969	0.409	2.167	0.913	0.906	2.072	1.628	5.650	2.952	2.521	1.096	1.081	0.982	0.458	3.140	0.282
Flow	39.380	2.071	1.624	0.137	0.407	3.973	34.032	1.812	0.903	7.627	0.978	0.457	9.703	9.635	2.513	1.095	1.078

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.996	0.999	0.995	0.997	0.993	0.995	0.995	0.997	0.998	0.998	0.998	0.994	0.996	0.996	0.997	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.536	0.164	1.226	1.704	0.193	0.882	0.588	3.159	1.721	1.070	0.879	0.169	1.637	0.557	0.443	0.137
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.137
Supply	1.536	0.164	1.226	1.704	0.193	0.882	0.588	3.159	1.721	1.070	0.879	0.169	1.637	0.557	0.443	0.000
Demand	1.543	0.164	1.232	1.709	0.194	0.886	0.591	3.169	1.724	1.072	0.881	0.170	1.644	0.559	0.445	0.000
Flow	0.281	1.700	2.930	0.193	1.470	0.164	1.704	0.588	2.791	1.048	2.637	1.070	0.169	0.557	0.443	0.000

ตารางผนวกที่ ค13 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 120%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.998	0.996	0.996	0.998	0.997	0.996	0.998	0.999	0.997	0.998	0.998	0.998	0.997	0.996	0.994	0.995	0.996
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-52.198	0.965	0.407	2.162	0.910	0.903	2.068	1.626	5.634	2.945	2.515	1.094	1.078	0.978	0.455	3.125	0.281
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.732	0.965	0.407	2.162	0.910	0.903	2.068	1.626	5.634	2.945	2.515	1.094	1.078	0.978	0.455	3.125	0.281
Demand	1.736	0.969	0.409	2.167	0.913	0.906	2.072	1.628	5.650	2.952	2.521	1.096	1.081	0.982	0.458	3.140	0.282
Flow	39.384	2.068	1.626	9.121	0.407	3.975	34.036	1.813	0.903	7.632	0.978	0.455	9.704	9.633	2.515	1.094	1.078

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.997	0.997	0.997	0.998	0.992	0.996	0.994	0.996	0.999	0.996	0.998	0.994	0.997	0.994	0.996	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.538	0.163	1.228	1.706	0.192	0.883	0.587	3.158	1.721	1.067	0.879	0.169	1.639	0.556	0.443	9.121
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	9.121
Supply	1.538	0.163	1.228	1.706	0.192	0.883	0.587	3.158	1.721	1.067	0.879	0.169	1.639	0.556	0.443	0.000
Demand	1.543	0.164	1.232	1.709	0.194	0.886	0.591	3.169	1.724	1.072	0.881	0.170	1.644	0.559	0.445	0.000
Flow	0.281	1.702	2.934	0.192	1.470	0.163	1.706	0.587	2.789	1.048	2.638	1.067	0.169	0.556	0.443	0.000

ตารางผนวกที่ ค14 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 16 (inflow = 150%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ratio	0.999	0.996	0.994	0.995	0.996	0.996	0.997	0.995	0.996	0.995	0.998	0.997	0.995	0.996	0.999	0.994	0.999
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-65.685	0.965	0.407	2.157	0.909	0.902	2.065	1.619	5.628	2.939	2.516	1.093	1.076	0.978	0.458	3.123	0.282
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.735	0.965	0.407	2.157	0.909	0.902	2.065	1.619	5.628	2.939	2.516	1.093	1.076	0.978	0.458	3.123	0.282
Demand	1.736	0.969	0.409	2.167	0.913	0.906	2.072	1.628	5.650	2.952	2.521	1.096	1.081	0.982	0.458	3.140	0.282
Flow	39.331	2.065	1.619	22.670	0.407	3.968	33.991	1.812	0.902	7.623	0.978	0.458	9.689	9.616	2.516	1.093	1.076

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Ratio	0.996	0.997	0.993	0.995	0.983	0.996	0.991	0.995	0.994	0.995	0.993	0.998	0.997	0.996	0.994	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.537	0.164	1.223	1.701	0.191	0.883	0.586	3.153	1.713	1.067	0.875	0.170	1.638	0.557	0.442	22.670
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	22.670
Supply	1.537	0.164	1.223	1.701	0.191	0.883	0.586	3.153	1.713	1.067	0.875	0.170	1.638	0.557	0.442	0.000
Demand	1.543	0.164	1.232	1.709	0.194	0.886	0.591	3.169	1.724	1.072	0.881	0.170	1.644	0.559	0.445	0.000
Flow	0.282	1.701	2.924	0.191	1.468	0.164	1.701	0.586	2.780	1.045	2.638	1.067	0.170	0.557	0.442	0.000

ตารางผนวกที่ ค15 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 60%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.607	0.606	0.595	0.602	0.597	0.600	0.604	0.599	0.598	0.601	0.598	0.597	0.000	0.602	0.593	0.000	0.000
nodeftnss	0.173	0.075	0.029	0.159	0.066	0.064	0.140	0.136	0.547	0.279	0.225	0.091	0.000	0.078	0.041	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-9.794	0.293	0.103	0.603	0.242	0.239	0.541	0.507	2.021	1.051	0.831	0.335	0.000	0.296	0.146	0.000	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.676	0.293	0.103	0.603	0.242	0.239	0.541	0.507	2.021	1.051	0.831	0.335	0.000	0.296	0.146	0.000	0.000
Demand	1.115	0.483	0.174	1.002	0.405	0.399	0.896	0.847	3.381	1.749	1.391	0.561	0.000	0.492	0.246	0.000	0.000
Flow	8.745	0.541	0.507	0.000	0.103	1.084	7.265	0.481	0.239	2.217	0.296	0.146	0.000	2.585	0.831	0.335	0.000

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.601	0.604	0.595	0.594	0.579	0.597	0.605	0.600	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.322	0.051	0.022	0.020	0.003	0.149	0.047	0.075	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.215	0.197	0.080	0.073	0.010	0.546	0.181	0.283	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.215	0.197	0.080	0.073	0.010	0.546	0.181	0.283	0.000
Demand	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.021	0.326	0.135	0.123	0.017	0.915	0.299	0.472	0.000
Flow	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.277	0.083	1.010	0.080	0.010	0.181	0.283	0.000

ตารางผนวกที่ ค16 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 70%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ratio	0.704	0.698	0.691	0.698	0.696	0.692	0.705	0.700	0.700	0.700	0.701	0.696	0.000	0.696	0.700	0.000	0.000
nodeftnss	0.098	0.044	0.017	0.091	0.037	0.038	0.078	0.076	0.304	0.157	0.125	0.052	0.000	0.045	0.022	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-11.425	0.337	0.120	0.700	0.282	0.276	0.631	0.593	2.368	1.225	0.975	0.391	0.000	0.343	0.172	0.000	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.785	0.337	0.120	0.700	0.282	0.276	0.631	0.593	2.368	1.225	0.975	0.391	0.000	0.343	0.172	0.000	0.000
Demand	1.115	0.483	0.174	1.002	0.405	0.399	0.896	0.847	3.381	1.749	1.391	0.561	0.000	0.492	0.246	0.000	0.000
Flow	10.201	0.631	0.593	0.000	0.120	1.257	8.487	0.558	0.276	2.590	0.343	0.172	0.000	3.014	0.975	0.391	0.000

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Ratio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.699	0.699	0.698	0.699	0.702	0.702	0.702	0.699	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.183	0.030	0.012	0.011	0.002	0.081	0.027	0.043	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.412	0.228	0.094	0.086	0.012	0.642	0.210	0.330	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.412	0.228	0.094	0.086	0.012	0.642	0.210	0.330	0.000
Demand	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.021	0.326	0.135	0.123	0.017	0.915	0.299	0.472	0.000
Flow	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.322	0.098	1.182	0.094	0.012	0.210	0.330	0.000

ตารางผนวกที่ ค17 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 80%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.805	0.799	0.800	0.797	0.801	0.797	0.797	0.803	0.801	0.800	0.801	0.799	0.000	0.799	0.800	0.000	0.000
nodeftnss	0.042	0.020	0.007	0.041	0.016	0.016	0.037	0.033	0.134	0.070	0.055	0.023	0.000	0.020	0.010	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-13.062	0.386	0.139	0.799	0.324	0.318	0.714	0.680	2.707	1.400	1.114	0.448	0.000	0.393	0.197	0.000	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.898	0.386	0.139	0.799	0.324	0.318	0.714	0.680	2.707	1.400	1.114	0.448	0.000	0.393	0.197	0.000	0.000
Demand	1.115	0.483	0.174	1.002	0.405	0.399	0.896	0.847	3.381	1.749	1.391	0.561	0.000	0.492	0.246	0.000	0.000
Flow	11.668	0.714	0.680	0.000	0.139	1.441	9.702	0.642	0.318	2.962	0.393	0.197	0.000	3.442	1.114	0.448	0.000

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.798	0.802	0.803	0.793	0.815	0.798	0.799	0.803	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.013	0.005	0.005	0.001	0.037	0.012	0.018	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.613	0.261	0.108	0.098	0.014	0.730	0.239	0.379	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.613	0.261	0.108	0.098	0.014	0.730	0.239	0.379	0.000
Demand	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.021	0.326	0.135	0.123	0.017	0.915	0.299	0.472	0.000
Flow	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.370	0.111	1.348	0.108	0.014	0.239	0.379	0.000

ตารางผนวกที่ ค18 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 90%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.903	0.899	0.903	0.897	0.902	0.900	0.901	0.901	0.900	0.901	0.899	0.901	0.000	0.900	0.902	0.000	0.000
nodeftnss	0.010	0.005	0.002	0.011	0.004	0.004	0.009	0.008	0.034	0.017	0.014	0.005	0.000	0.005	0.002	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-14.703	0.434	0.157	0.899	0.365	0.359	0.807	0.763	3.042	1.575	1.251	0.506	0.000	0.443	0.222	0.000	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.007	0.434	0.157	0.899	0.365	0.359	0.807	0.763	3.042	1.575	1.251	0.506	0.000	0.443	0.222	0.000	0.000
Demand	1.115	0.483	0.174	1.002	0.405	0.399	0.896	0.847	3.381	1.749	1.391	0.561	0.000	0.492	0.246	0.000	0.000
Flow	13.133	0.807	0.763	0.000	0.157	1.623	10.918	0.724	0.359	3.331	0.443	0.222	0.000	3.879	1.251	0.506	0.000

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.901	0.903	0.907	0.910	0.908	0.899	0.895	0.900	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.003	0.001	0.001	0.000	0.009	0.003	0.005	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.820	0.294	0.122	0.112	0.015	0.822	0.268	0.425	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.820	0.294	0.122	0.112	0.015	0.822	0.268	0.425	0.000
Demand	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.021	0.326	0.135	0.123	0.017	0.915	0.299	0.472	0.000
Flow	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.417	0.127	1.515	0.122	0.015	0.268	0.425	0.000

ตารางผนวกที่ ค19 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 100%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.995	0.991	0.989	0.994	0.990	0.992	0.994	0.994	0.996	0.997	0.994	0.993	0.000	0.990	0.987	0.000	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-16.339	0.479	0.172	0.996	0.401	0.396	0.890	0.842	3.368	1.743	1.382	0.557	0.000	0.487	0.243	0.000	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.110	0.479	0.172	0.996	0.401	0.396	0.890	0.842	3.368	1.743	1.382	0.557	0.000	0.487	0.243	0.000	0.000
Demand	1.115	0.483	0.174	1.002	0.405	0.399	0.896	0.847	3.381	1.749	1.391	0.561	0.000	0.492	0.246	0.000	0.000
Flow	14.493	0.890	0.842	0.114	0.172	1.793	12.050	0.796	0.396	3.682	0.487	0.243	0.000	4.270	1.382	0.557	0.000

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.993	0.991	0.984	0.983	0.966	0.990	0.988	0.992	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.006	0.323	0.133	0.121	0.016	0.906	0.295	0.468	0.114
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.114
Supply	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.006	0.323	0.133	0.121	0.016	0.906	0.295	0.468	0.000
Demand	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.021	0.326	0.135	0.123	0.017	0.915	0.299	0.472	0.000
Flow	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.456	0.137	1.670	0.133	0.016	0.295	0.468	0.000

ตารางผนวกที่ ค20 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 120%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.995	0.999	0.994	0.994	0.996	0.990	0.996	0.998	0.996	0.995	0.994	0.997	0.000	0.999	0.994	0.000	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-19.831	0.482	0.173	0.996	0.403	0.395	0.893	0.845	3.368	1.741	1.383	0.559	0.000	0.491	0.244	0.000	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.109	0.482	0.173	0.996	0.403	0.395	0.893	0.845	3.368	1.741	1.383	0.559	0.000	0.491	0.244	0.000	0.000
Demand	1.115	0.483	0.174	1.002	0.405	0.399	0.896	0.847	3.381	1.749	1.391	0.561	0.000	0.492	0.246	0.000	0.000
Flow	14.519	0.893	0.845	3.574	0.173	1.794	12.069	0.798	0.395	3.683	0.491	0.244	0.000	4.281	1.383	0.559	0.000

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.995	0.993	0.994	0.998	0.991	0.992	0.996	0.990	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.011	0.324	0.134	0.123	0.017	0.907	0.298	0.468	3.574
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.574
Supply	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.011	0.324	0.134	0.123	0.017	0.907	0.298	0.468	0.000
Demand	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.021	0.326	0.135	0.123	0.017	0.915	0.299	0.472	0.000
Flow	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.458	0.140	1.673	0.134	0.017	0.298	0.468	0.000

ตารางผนวกที่ ค21 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 22 (inflow = 150%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.998	0.997	0.991	0.992	0.994	0.987	0.995	0.991	0.997	0.999	0.997	0.993	0.000	0.996	0.987	0.000	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-25.057	0.482	0.172	0.993	0.402	0.394	0.892	0.840	3.371	1.747	1.387	0.557	0.000	0.490	0.243	0.000	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.113	0.482	0.172	0.993	0.402	0.394	0.892	0.840	3.371	1.747	1.387	0.557	0.000	0.490	0.243	0.000	0.000
Demand	1.115	0.483	0.174	1.002	0.405	0.399	0.896	0.847	3.381	1.749	1.391	0.561	0.000	0.492	0.246	0.000	0.000
Flow	14.513	0.892	0.840	8.813	0.172	1.790	12.069	0.796	0.394	3.691	0.490	0.243	0.000	4.274	1.387	0.557	0.000

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.994	0.996	0.994	0.972	0.959	0.996	0.974	0.993	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.008	0.325	0.134	0.120	0.016	0.911	0.291	0.469	8.813
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.813
Supply	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.008	0.325	0.134	0.120	0.016	0.911	0.291	0.469	0.000
Demand	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.021	0.326	0.135	0.123	0.017	0.915	0.299	0.472	0.000
Flow	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.459	0.136	1.671	0.134	0.016	0.291	0.469	0.000

ตารางผนวกที่ ค22 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 60%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.605	0.603	0.601	0.607	0.591	0.592	0.602	0.598	0.602	0.595	0.607	0.602	0.604	0.585	0.597	0.601	0.596
nodeftnss	0.177	0.079	0.029	0.162	0.071	0.070	0.148	0.133	0.233	0.128	0.074	0.087	0.122	0.025	0.011	0.352	0.030
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-11.350	0.303	0.107	0.635	0.252	0.249	0.561	0.492	0.882	0.461	0.291	0.331	0.470	0.084	0.039	1.328	0.112
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.690	0.303	0.107	0.635	0.252	0.249	0.561	0.492	0.882	0.461	0.291	0.331	0.470	0.084	0.039	1.328	0.112
Demand	1.139	0.502	0.179	1.046	0.427	0.420	0.932	0.823	1.466	0.776	0.479	0.550	0.779	0.143	0.066	2.211	0.187
Flow	10.298	0.561	0.492	0.000	0.107	1.136	8.751	0.501	0.249	1.554	0.084	0.039	4.022	2.171	0.291	0.331	0.470

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.601	0.600	0.594	0.600	0.595	0.598	0.596	0.594	0.601	0.600	0.593	0.604	0.605	0.597	0.610	0.000
nodeftnss	0.166	0.018	0.141	0.189	0.023	0.097	0.064	0.159	0.162	0.095	0.082	0.015	0.052	0.013	0.009	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.627	0.067	0.507	0.705	0.083	0.360	0.232	0.571	0.610	0.358	0.293	0.056	0.201	0.047	0.035	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.627	0.067	0.507	0.705	0.083	0.360	0.232	0.571	0.610	0.358	0.293	0.056	0.201	0.047	0.035	0.000
Demand	1.043	0.112	0.854	1.176	0.140	0.601	0.390	0.962	1.015	0.596	0.494	0.093	0.332	0.078	0.058	0.000
Flow	0.112	0.694	1.212	0.083	0.592	0.067	0.705	0.232	0.967	0.349	0.283	0.358	0.056	0.047	0.035	0.000

ตารางผนวกที่ ค23 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 70%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.700	0.708	0.697	0.696	0.700	0.702	0.700	0.706	0.704	0.696	0.695	0.703	0.703	0.690	0.672	0.698	0.699
nodeftnss	0.102	0.043	0.016	0.096	0.038	0.037	0.084	0.071	0.128	0.072	0.045	0.049	0.069	0.014	0.007	0.202	0.017
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-13.253	0.355	0.125	0.728	0.299	0.295	0.653	0.581	1.032	0.540	0.333	0.387	0.548	0.099	0.044	1.542	0.131
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.797	0.355	0.125	0.728	0.299	0.295	0.653	0.581	1.032	0.540	0.333	0.387	0.548	0.099	0.044	1.542	0.131
Demand	1.139	0.502	0.179	1.046	0.427	0.420	0.932	0.823	1.466	0.776	0.479	0.550	0.779	0.143	0.066	2.211	0.187
Flow	12.019	0.653	0.581	0.000	0.125	1.322	10.217	0.594	0.295	1.808	0.099	0.044	4.692	2.542	0.333	0.387	0.548

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.702	0.701	0.700	0.699	0.695	0.700	0.693	0.697	0.704	0.699	0.705	0.680	0.701	0.719	0.687	0.000
nodeftnss	0.093	0.010	0.077	0.106	0.013	0.054	0.037	0.088	0.089	0.054	0.043	0.010	0.030	0.006	0.006	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.732	0.078	0.598	0.822	0.097	0.421	0.270	0.671	0.715	0.417	0.348	0.063	0.233	0.056	0.040	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.732	0.078	0.598	0.822	0.097	0.421	0.270	0.671	0.715	0.417	0.348	0.063	0.233	0.056	0.040	0.000
Demand	1.043	0.112	0.854	1.176	0.140	0.601	0.390	0.962	1.015	0.596	0.494	0.093	0.332	0.078	0.058	0.000
Flow	0.131	0.810	1.420	0.097	0.691	0.078	0.822	0.270	1.131	0.412	0.329	0.417	0.063	0.056	0.040	0.000

ตารางผนวกที่ ค24 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 80%)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ratio	0.085	0.807	0.800	0.795	0.797	0.799	0.800	0.804	0.801	0.799	0.796	0.800	0.794	0.809	0.816	0.798	0.802
nodeftnss	0.043	0.019	0.007	0.044	0.018	0.017	0.037	0.032	0.058	0.031	0.020	0.022	0.033	0.005	0.002	0.090	0.007
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-15.143	0.405	0.143	0.832	0.341	0.336	0.746	0.662	1.174	0.620	0.381	0.440	0.619	0.116	0.054	1.765	0.150
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.917	0.405	0.143	0.832	0.341	0.336	0.746	0.662	1.174	0.620	0.381	0.440	0.619	0.116	0.054	1.765	0.150
Demand	1.139	0.502	0.179	1.046	0.427	0.420	0.932	0.823	1.466	0.776	0.479	0.550	0.779	0.143	0.066	2.211	0.187
Flow	13.736	0.746	0.662	0.000	0.143	1.508	11.679	0.676	0.336	2.060	0.116	0.054	5.373	2.903	0.381	0.440	0.619

	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Ratio	0.801	0.798	0.803	0.800	0.802	0.802	0.802	0.801	0.802	0.799	0.799	0.799	0.797	0.799	0.790	0.000
nodeftnss	0.041	0.005	0.033	0.047	0.005	0.024	0.015	0.038	0.040	0.024	0.020	0.004	0.014	0.003	0.003	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.835	0.089	0.686	0.940	0.112	0.482	0.313	0.771	0.814	0.476	0.395	0.074	0.265	0.062	0.046	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.835	0.089	0.686	0.940	0.112	0.482	0.313	0.771	0.814	0.476	0.395	0.074	0.265	0.062	0.046	0.000
Demand	1.043	0.112	0.854	1.176	0.140	0.601	0.390	0.962	1.015	0.596	0.494	0.093	0.332	0.078	0.058	0.000
Flow	0.150	0.924	1.626	0.112	0.795	0.089	0.940	0.313	1.290	0.469	0.373	0.476	0.074	0.062	0.046	0.000

ตารางผนวกที่ ค25 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 90%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.900	0.903	0.905	0.903	0.899	0.894	0.903	0.900	0.898	0.900	0.901	0.899	0.899	0.900	0.907	0.900	0.907
nodeftnss	0.011	0.005	0.002	0.010	0.004	0.005	0.009	0.008	0.015	0.008	0.005	0.006	0.008	0.001	0.001	0.022	0.002
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-17.035	0.453	0.162	0.944	0.384	0.375	0.842	0.740	1.317	0.698	0.432	0.495	0.700	0.129	0.060	1.991	0.170
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.025	0.453	0.162	0.944	0.384	0.375	0.842	0.740	1.317	0.698	0.432	0.495	0.700	0.129	0.060	1.991	0.170
Demand	1.139	0.502	0.179	1.046	0.427	0.420	0.932	0.823	1.466	0.776	0.479	0.550	0.779	0.143	0.066	2.211	0.187
Flow	15.453	0.842	0.740	0.000	0.162	1.703	13.135	0.759	0.375	2.325	0.129	0.060	6.040	3.265	0.432	0.495	0.700

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.899	0.896	0.901	0.899	0.891	0.902	0.894	0.900	0.901	0.900	0.898	0.906	0.900	0.902	0.894	0.000
nodeftnss	0.011	0.001	0.008	0.012	0.002	0.006	0.004	0.010	0.010	0.006	0.005	0.001	0.003	0.001	0.001	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	0.937	0.100	0.769	1.057	0.125	0.542	0.349	0.866	0.914	0.537	0.443	0.084	0.299	0.070	0.052	0.000
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	0.937	0.100	0.769	1.057	0.125	0.542	0.349	0.866	0.914	0.537	0.443	0.084	0.299	0.070	0.052	0.000
Demand	1.043	0.112	0.854	1.176	0.140	0.601	0.390	0.962	1.015	0.596	0.494	0.093	0.332	0.078	0.058	0.000
Flow	0.170	1.038	1.826	0.125	0.891	0.100	1.057	0.349	1.451	0.528	0.421	0.537	0.084	0.070	0.052	0.000

ตารางผนวกที่ ค26 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 100%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.997	0.994	0.999	0.995	0.989	0.992	0.996	0.993	0.994	0.992	0.994	0.990	0.992	0.992	0.979	0.994	0.989
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-18.935	0.499	0.179	1.041	0.422	0.417	0.928	0.818	1.457	0.770	0.476	0.544	0.773	0.142	0.065	2.197	0.185
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.135	0.499	0.179	1.041	0.422	0.417	0.928	0.818	1.457	0.770	0.476	0.544	0.773	0.142	0.065	2.197	0.185
Demand	1.139	0.502	0.179	1.046	0.427	0.420	0.932	0.823	1.466	0.776	0.479	0.550	0.779	0.143	0.066	2.211	0.187
Flow	17.041	0.928	0.818	0.148	0.179	1.880	14.484	0.839	0.417	2.564	0.142	0.065	6.664	3.593	0.476	0.544	0.773

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.993	0.978	0.993	0.992	0.997	0.989	0.994	0.988	0.993	0.990	0.991	0.982	0.987	1.000	0.989	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.035	0.110	0.848	1.167	0.140	0.594	0.388	0.951	1.008	0.590	0.490	0.091	0.328	0.078	0.057	0.148
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.148
Supply	1.035	0.110	0.848	1.167	0.140	0.594	0.388	0.951	1.008	0.590	0.490	0.091	0.328	0.078	0.057	0.000
Demand	1.043	0.112	0.854	1.176	0.140	0.601	0.390	0.962	1.015	0.596	0.494	0.093	0.332	0.078	0.058	0.000
Flow	0.185	1.145	2.015	0.140	0.982	0.110	1.167	0.388	1.598	0.581	0.463	0.590	0.091	0.078	0.057	0.000

ตารางผนวกที่ ค27 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 120%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.994	0.991	0.993	0.993	0.995	0.990	0.995	0.997	0.995	0.991	0.996	0.991	0.994	0.994	0.983	0.993	0.995
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-22.948	0.497	0.178	1.038	0.425	0.416	0.927	0.820	1.458	0.769	0.477	0.545	0.774	0.142	0.065	2.195	0.186
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.132	0.497	0.178	1.038	0.425	0.416	0.927	0.820	1.458	0.769	0.477	0.545	0.774	0.142	0.065	2.195	0.186
Demand	1.139	0.502	0.179	1.046	0.427	0.420	0.932	0.823	1.466	0.776	0.479	0.550	0.779	0.143	0.066	2.211	0.187
Flow	17.043	0.927	0.820	4.159	0.178	1.879	14.489	0.840	0.416	2.565	0.142	0.065	6.662	3.596	0.477	0.545	0.774

	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**
Ratio	0.988	0.994	0.993	0.994	0.995	0.994	0.990	0.991	0.994	0.993	0.990	0.989	0.985	0.985	0.991	0.000
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	1.031	0.111	0.848	1.168	0.139	0.597	0.386	0.953	1.009	0.592	0.489	0.092	0.327	0.077	0.057	4.159
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.159
Supply	1.031	0.111	0.848	1.168	0.139	0.597	0.386	0.953	1.009	0.592	0.489	0.092	0.327	0.077	0.057	0.000
Demand	1.043	0.112	0.854	1.176	0.140	0.601	0.390	0.962	1.015	0.596	0.494	0.093	0.332	0.078	0.058	0.000
Flow	0.186	1.142	2.017	0.139	0.983	0.111	1.168	0.386	1.600	0.581	0.461	0.592	0.092	0.077	0.057	0.000

ตารางผนวกที่ ค28 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง GAWA-2004 สัปดาห์ที่ 23 (inflow = 150%)

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Ratio	0.997	0.996	0.994	0.992	0.990	0.997	0.996	0.994	0.993	0.988	0.993	0.996	0.992	0.992	0.985	0.994	0.995
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
QConect	-28.964	0.500	0.178	1.038	0.423	0.419	0.928	0.818	1.455	0.767	0.476	0.548	0.773	0.142	0.065	2.197	0.186
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Supply	1.136	0.500	0.178	1.038	0.423	0.419	0.928	0.818	1.455	0.767	0.476	0.548	0.773	0.142	0.065	2.197	0.186
Demand	1.139	0.502	0.179	1.046	0.427	0.420	0.932	0.823	1.466	0.776	0.479	0.550	0.779	0.143	0.066	2.211	0.187
Flow	17.042	0.928	0.818	10.175	0.178	1.879	14.485	0.841	0.419	2.563	0.142	0.065	6.664	3.597	0.476	0.548	0.773
	18	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**	**31**	**32**	**33**	
Ratio	0.992	0.991	0.995	0.990	0.992	0.992	0.989	0.992	0.990	0.998	0.988	0.986	0.989	0.991	0.978	0.000	
nodeftnss	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Balnc	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
QConect	1.034	0.111	0.850	1.165	0.139	0.596	0.386	0.955	1.005	0.595	0.488	0.092	0.328	0.077	0.057	10.175	
Qsink	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10.175	
Supply	1.034	0.111	0.850	1.165	0.139	0.596	0.386	0.955	1.005	0.595	0.488	0.092	0.328	0.077	0.057	0.000	
Demand	1.043	0.112	0.854	1.176	0.140	0.601	0.390	0.962	1.015	0.596	0.494	0.093	0.332	0.078	0.058	0.000	
Flow	0.186	1.145	2.014	0.139	0.982	0.111	1.165	0.386	1.600	0.580	0.462	0.595	0.092	0.077	0.057	0.000	

ภาคผนวก ง

แสดงไฟล์ข้อมูลของแบบจำลอง GAWA - 2004

```
/*SPnetwork.c Songphinong Irrigation Project network
  For theisis  Started  12 December 2003*/

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include <process.h>
#include <time.h>

#define POPSIZE          300  // population size
#define LENGTH           32   // q1 q2 q3 q4 q5 q6
#define MaxGEN           90000
#define Pmutate          0.1  // (0.75/6)
#define PXOVER           0.7
#define Accurate         0.001  // 0.001
#define INTERVAL         10000
#define DELTA            0.0001
#define NREACH            33
#define NNODE            33
#define NSTEP            1
#define PrintMENU        0
#define Modi_muta        0.013

void initial();
float RandReal (float, float);        /* use for random Initial Pop.,and mutation */
int  RandInt (int, int);              /* use for random Xover site */
void Read_inputfiles();
void SwapIntValues(int *, int *);      /* use for swap 2-sites XOVER */
void SwapRealValues(float *, float *); /* use for swap XOVER to genes */
```

```
void nrerror(char *messg) ;
void objective(int[],int);
void Tournament();
void SelectMate();
void UniSelectMate();
void mutatepop(int);

int    qindx[NNODE][NREACH],inrno[NNODE][NNODE],nreach, nnodes, mated[POPSIZE],
index, R1, R2;
float  Q[NREACH][POPSIZE+1],Qinf[NNODE],d[NNODE], upper[NREACH],
lower[NREACH], sumx,sumd;
float  ftnss[POPSIZE+1];
float  mated_pop[POPSIZE][LENGTH], DELTA_ftnss,OLD_minftnss;
float  bestfit;
int   pofi;
//double  Pmutate;
//double  Modi_muta;

FILE   *f1,*f2,*f3,*f4;

void main (void)
{
   int  k, flag[NNODE],gen;

          clock_t start,finish;
          float duration;
          if(!(f1 = fopen("sp6xtour.out","w"))) {
                    printf("can't open file ga31out.c\n");
                    exit(1);
          }
```

```
        if(!(f4 = fopen("Flag6No.dat","r"))) {
                printf("can't open flag1.dat\n");
                exit(1);
        }

   for (k=0; k< NNODE; k++)
   {
                fscanf(f4,"%d",&flag[k]);
//              printf("%d\n",flag[k]);
   }
//getchar();
  (void) fclose(f4);
  Read_inputfiles();
  srand(10);
        start = clock();
//      R1 = 22;
//      Pmutate = 0.02;
//      Modi_muta = 0.001;
//  do{
        R1      =       26; //best 10
        R2  =   4;
        initial();
        index = 0;
        OLD_minftnss   = 10000.0;
        DELTA_ftnss            = 10000.0;
        ftnss[POPSIZE] = 1000000.0f;
        bestfit                = 10000.0f;

for(gen = 0; gen <= MaxGEN; gen++) {
        objective(flag, gen);  if(index == 999) break;
        Tournament();
```

```
//          SelectMate();
            UniSelectMate();
            mutatepop(gen);
             if (!((gen+1)%INTERVAL)){
                        DELTA_ftnss = (float)fabs((double)((OLD_minftnss -
ftnss[POPSIZE])/ftnss[POPSIZE]));
                        OLD_minftnss = ftnss[POPSIZE];
             }
} /**** End of GENERATED loop ****/

  finish = clock();
  duration = (float) (finish - start) / CLOCKS_PER_SEC;
  fprintf(f1,"Time = %5.2f sec", duration);

//  R1 = R1 + 2;
//Pmutate = Pmutate + 0.02;
//Modi_muta = Modi_muta + 0.002;
 // }while (R1 <= 30);
//  }while (Pmutate<=0.2);
//}while (Modi_muta<=0.05);
  printf("End of run  ENJOY!!!! ");
  (void) fclose(f3);
  (void) fclose(f1);
}  /**** End of MAIN program ****/

/**********START OF SUBROUTINES **********/
void Read_inputfiles()
{
            int   ii, jj, ir, nyrs, nk,nsink,nnosnk[NNODE], nno[NNODE],scheme_node[NNODE],
                  num_schemes, rno[NNODE][NNODE] ,nchk, nstep, arno[NREACH],
                  nno2[NNODE], nno3[NNODE];
```

```
        float qcap[NNODE][NNODE], dem[NSTEP][NNODE], inflo[NSTEP][NNODE],
qmx[NREACH];
        float tdem;//  float  dr;
        char  title[80], title2[80], title3[80];
        char  networkfile[20], demandsfile[20], inflowsfile[20];
        if(!(f2 = fopen("Projfile.lst","r"))) {
    nrerror(" Can not open project file") ;
  }
  /* now read the data file names */
        fgets(networkfile, 20, f2) ;
        fgets(demandsfile, 20, f2) ;
        fgets(inflowsfile, 20, f2) ;

        for(ii = 0; ii < 20; ii++)
         {
                if(networkfile[ii] == '\n') networkfile[ii] = '\0' ;
                if(demandsfile[ii] == '\n') demandsfile[ii] = '\0' ;
                if(inflowsfile[ii] == '\n') inflowsfile[ii] = '\0' ;
        }
        (void) fclose(f2) ;
  /************************/
  /* Now read network data */
        if(!(f2 = fopen(networkfile,"r"))) {
        nrerror(" Unable to open network file") ;
        }
        fgets(title, 80, f2);          /* Network title start here */
        fscanf(f2," %d", &nnodes) ; /* scan number of nodes */
        tdem = 0 ;
 /* scan node number here*/
        for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) fscanf(f2," %d ", &nno[jj]) ;
        fscanf(f2,"%d ", &nsink) ;  /* scan number of sink here */
```

```
/* scan sink number */
        for(jj = 0; jj < nsink; jj++) fscanf(f2,"%d ", &nnosnk[jj]) ;
        fscanf(f2,"%d",&num_schemes);/* scan number of schemes here */
/* scan scheme number */
        for(jj=0;jj<num_schemes;jj++) fscanf(f2,"%d ", &scheme_node[jj]);

  /*******************/
  fgets(title, 80, f2);       /* Connection Index */
 /* this is to re-check column */
        for(jj = 0; jj < nnodes; jj++)
         {
                fscanf(f2,"%3d", &nk) ;
                if(nk != nno[jj]) {
                nrerror("Hello: Index array error") ;
        }
        }
        fscanf(f2,"\n") ;          /* this is to re-check  row */
        for(jj = 0; jj<nnodes; jj++)
        {
                qindx[jj][jj] = 0 ;
                fscanf(f2,"%2d ", &nk) ;
                if(nk != nno[jj])
                 {
                  nrerror("Index array error 2") ;
                }
                for(ii = 0; ii<nnodes; ii++)
                 {
                        fscanf(f2,"%2d", &qindx[jj][ii]) ;
                }
                fscanf(f2,"\n") ;
        }
```

```
/********************/
fgets(title, 80, f2);        /* Reach Capacities */
/* this is to re-check column */
        for(jj = 0; jj < nnodes; jj++)
        {
                fscanf(f2,"%d", &nk) ;
                if(nk != nno[jj])
                {
                  nrerror("array error 3") ;
                }
        }
        fscanf(f2,"\n") ;           /* this is to re-check row */
        for(jj = 0; jj < nnodes; jj++)
        {
                fscanf(f2," %d ", &nk) ;
                if(nk != nno[jj])
                {
                 nrerror(" array error#1") ;
                }
                for (ii = 0; ii < nnodes; ii++)
                {
                        fscanf(f2,"%f", &qcap[jj][ii]) ;
                }
                fscanf(f2,"\n") ;       /**********important?*************/
        }
/******************/
fgets(title,80,f2);         /* Reach Numbers */
//  printf("\n");
        for(jj = 0; jj < nnodes; jj++)
        {
                fscanf(f2,"%d ", &nk) ;
```

```
                if(nk != nno[jj])
                 {
                   nrerror(" array error#2") ;
                }
        }
//      printf("\n");
        fscanf(f2,"\n") ;       /* this is to re-check row */
        for(jj = 0; jj < nnodes; jj++)
        {
                fscanf(f2,"%d", &nk) ;
//              printf("%d",nk) ;
                if(nk != nno[jj])
                {
                   nrerror(" array error#3") ;
                }

                for(ii = 0; ii < nnodes; ii++)
                {
                   fscanf(f2," %d ", &rno[jj][ii]) ;
                }
        }
   (void)fclose(f2) ;
   /**************close network file here******************/
        /* Determine the number of reaches, and assign internal nos  */
        nreach = 0 ;
        for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
                inrno[jj][jj] = 0 ;
                for(ii = jj+1; ii < nnodes; ii++)
                {
                        if(qindx[jj][ii] == 0 && rno[jj][ii] != 0)
                        {
```

```
                        printf(" jj=%3d  ii=%3d\n",jj,ii);
                        printf(" Qindx[%d][%d]=%3.3f\n",jj,ii,qindx[jj][ii]);
                        printf(" Rno[%d][%d]=%3.3f\n",jj,ii,rno[jj][ii]);
                        nrerror("1#Index and reach no.arrays out of sinc. ") ;
                }
                if(qindx[jj][ii] == 0 && qcap[jj][ii] != 0)
                        nrerror("2#Index and capacity arrays out of sinc. ") ;
                if(qindx[jj][ii] != 0){
                        inrno[jj][ii] = nreach ;
                        nreach++ ;
                }
                inrno[ii][jj] = inrno[jj][ii] ;
        }
}
/* Check reach numbers */
nreach = 0;
for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
        for(ii = jj+1; ii <= nnodes; ii++) {
                if(qindx[jj][ii] != 0){
                        arno[nreach] = rno[jj][ii] ;  /**** actual reach number ****/
                        nreach++ ;
                }
    }
}
ir = 0 ;
for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
        for(ii = jj+1; ii <= nnodes; ii++) {
                if(qindx[jj][ii] != 0){
                        qmx[ir] = qcap[ii][jj] ;      /**** Qmax ****/
//                      printf("qmx = %3.1f",qmx[ir]);
                        ir++ ;
```

```
                    }
                }
            }
            /****************************************/
            /* Need to read the demand file in here !!*/

            if(!(f2 = fopen(demandsfile, "r")))  {
                nrerror(" can't open demands file") ;
    }
    fgets(title2, 80, f2);
//printf("\n");
//puts(title2);//title
    fscanf(f2," %d", &nstep) ;//1
//printf("%d\n", nstep);
    scanf(f2," %d ", &nchk) ;//6
//printf("%d\n", nchk);

    if(nchk != nnodes)  nrerror(" 3#Index and reach no.arrays out of sinc. ") ;
    for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
            fscanf(f2," %d ", &nno2[jj]) ;
//          printf("%3d", nno2[jj]);//1 2 3 4 5 6
            if(nno[jj] != nno2[jj]) nrerror("4#Index and reach no. arrays out of sinc. ") ;
            }
//  printf("\n");



        for(ii = 0; ii < nstep; ii++)
            {
                    for(jj = 0; jj < nnodes; jj++)
                    {
```

```
                    fscanf(f2," %f ", &dem[ii][jj]) ;
                //  printf("%d %3.3f\n",jj,dem[ii][jj]); // 0.0 4.0 5.0 5.0 0.0 3.0
                }
        }
    for(ii = 0; ii < nstep; ii++)
        {
                sumd = 0.0;
                for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
                        d[jj] = dem[ii][jj];
                        sumd = sumd + d[jj];
                        }
        }
//              printf("\n");
(void)fclose(f2);

  /****************close demand file************/
  /* Start to read inflows data. The flow data file is kept open */

        if(!(f2 = fopen(inflowsfile,"r"))) {
        nrerror("can't open inflows file");
        }
        fgets(title3, 80, f2);
//      printf("\n");
//      puts(title3); // title

   /*   fscanf(f2," %d ", &nstep1) ;
        if(nstep != nstep1) nrerror(" problem with no of steps INFLOWS file.") ;  */
        fscanf(f2," %d ", &nyrs)  ;
//      printf("%1d\n",nyrs) ; // 1
        fscanf(f2," %d ", &nchk) ;
//  printf("%1d\n",nchk) ; // 6
```

```
    if(nchk != nnodes) nrerror(" problem with no of nodes in INFLOWS file.") ;
    for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
                    fscanf(f2," %d ", &nno3[jj]) ;
//                  printf("%3d", nno3[jj]); // 1 2 3 4 5 6
                    if(nno[jj] != nno3[jj]) nrerror(" problem with arrays out of sinc. ") ;
            }
//    printf("\n");

    for(ii = 0; ii < nstep; ii++) {
                    for(jj = 0; jj < nnodes; jj++)
                    {
                       fscanf(f2," %f ", &inflo[ii][jj]) ;
//                     printf("%3.0f",inflo[ii][jj]);// 15.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
                    }
//        printf("\n");
    }

//for ( i = 0; i < POPSIZE ; i ++){
    for(ii = 0; ii < nstep; ii++)  {
                    sumx = 0.0;
                     for(jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
                              Qinf[jj] = inflo[ii][jj];
//                                     printf("%1.0f",Qinf[jj]);
                            sumx = sumx +Qinf[jj];
                            }
//                          printf("\n");
            }
//}
    (void)fclose(f2) ;

            /*************close inflow file***************/
```

```
}

/***********************************/
void initial()
{
        int i,j;

   if(!(f3 = fopen("test.txt","r"))) {
                printf("can't open test.dat\n");
                exit(1);
        }
        for (j=0; j<NREACH; j++){
                fscanf(f3,"%f %f",&lower[j],&upper[j]);
//              fprintf(f1,"%3.3f %3.3f\n",lower[j],upper[j]);
   }
//      fprintf(f1,"\n");

//      printf("values read\n");
//      getchar();
   (void) fclose(f3);

        if(d[6]==0) upper[1]=lower[1];
        if(d[7]==0) upper[2]=lower[2];
        if(d[2]==0) upper[4]=lower[4];
        if(d[5]==0) upper[8]=lower[8];
        if(d[13]==0) upper[10]=lower[10];
        if(d[14]==0) upper[11]=lower[11];
        if(d[10]==0) upper[14]=lower[14];
        if(d[11]==0) upper[15]=lower[15];
        if(d[12]==0) upper[16]=lower[16];
        if(d[16]==0) upper[17]=lower[17];
```

```
        if(d[18]==0) upper[22]=lower[22];
        if(d[20]==0) upper[23]=lower[23];
        if(d[21]==0) upper[20]=lower[20];
        if(d[23]==0) upper[24]=lower[24];
        if(d[26]==0) upper[28]=lower[28];
        if(d[28]==0) upper[29]=lower[29];
        if(d[30]==0) upper[30]=lower[30];
        if(d[31]==0) upper[31]=lower[31];
        if((d[18]==0)&&(d[17]==0)) upper[18]=lower[18];
        if((d[20]==0)&&(d[19]==0)) upper[19]=lower[19];
        if((d[23]==0)&&(d[22]==0)) upper[21]=lower[21];
        if((d[28]==0)&&(d[27]==0)) upper[26]=lower[26];
        if((d[26]==0)&&(d[25]==0)) upper[25]=lower[25];
        if((d[5]==0)&&(d[4]==0))   upper[7]=lower[7];
        if((d[31]==0)&&(d[30]==0)&&(d[29]==0)) upper[27]=lower[27];
        if((d[5]==0)&&(d[4]==0)&&(d[3]==0)) upper[5]=lower[5];
        if((d[10]==0)&&(d[11]==0)&&(d[12]==0)&&(d[9]==0)) upper[9]=lower[9];
if((d[23]==0)&&(d[22]==0)&&(d[21]==0)&&(d[20]==0)&&(d[19]==0)&&(d[18]==0)&&(d[17
]==0)&&(d[16]==0)&&(d[15]==0)) upper[12]=lower[12];

//  fprintf(f1,"Gen 0\n");
//          fprintf(f1," INITIAL POPULATION\n");
        for(i=0;i<POPSIZE;i++){
           for(j=0;j<NREACH;j++){
                Q[j][i] = RandReal(lower[j],upper[j]);   /* Random Real Values*/
//              fprintf(f1,"%7.3f",Q[j][i]);
//              printf("%7.3f\n",Q[j][i]);
                }
//              getchar();
//    fprintf(f1,"\n");
    }
```

```
//  fprintf(f1,"\n");

}
/*************************************/



 /* This is to random initial population in Real Number */
float RandReal (float lower,float upper)
{
        float val;
        float nb = ( upper - lower );
        val =  (float)(rand()%1000/1000.0*nb + lower);
        return ((float)val);
}
/*************************************/
 /* This is to random initial population for integers */
int RandInt (int lower,int upper)
{
        int val;
        int nb = (upper - lower );
        val =  (rand()%nb + lower);
        return val;
}
/*****************************************************************/
/* routine to calculate fitness,constraints to objective function */
void  objective(int flag[],int gen)
{
  int    i,j,ii,jj,check1[POPSIZE],check2[POPSIZE],seton;
  float  x[POPSIZE][NNODE],Balnc[POPSIZE][NNODE],nodeftnss[POPSIZE][NNODE];
```

```
  float  sumftnss,minftnss,stringftnss,avgftnss;
  float  pp[POPSIZE][NNODE],ratio[POPSIZE][NNODE] ;
  float  QConect[POPSIZE][NNODE],Qsink[POPSIZE][NNODE] ;
  float  sumconstr1[POPSIZE],sumconstr2[POPSIZE],excess[POPSIZE][NNODE];
  float  constraint1[POPSIZE][NNODE], Qflowinto[POPSIZE][NNODE];

  float  pratio[NNODE],pnodeftnss[NNODE],pBalnc[NNODE], pQConect[NNODE],
pQsink[NNODE];
  float  pofx[NNODE],pQ[NREACH];

 sumftnss = 0.0f;
 for(i=0;i<POPSIZE;i++)  {
        sumconstr1[i] = 0.0f;
        sumconstr2[i] = 0.0f;
        stringftnss  = 0.0f;
        check1[i] = 0;
        check2[i] = 0;
        for(jj = 0; jj <nnodes; jj++){
                QConect[i][jj]= 0.0;
                Qflowinto[i][jj] = 0.0f;
                for(ii=0;ii <nnodes; ii++) {
                        if(qindx[jj][ii]!=0){
                        nreach = inrno[ii][jj];
                         QConect[i][jj] = QConect[i][jj]+qindx[jj][ii]*Q[nreach][i];
                         if(QConect[i][jj] > 0.0f){
                                Qflowinto[i][jj] = Qflowinto[i][jj] + QConect[i][jj];
                         }
                    }
                }
   // define  Qsink  here
        if (flag[jj] == 1) Qsink[i][jj] = QConect[i][jj];
```

```
        if (flag[jj] == 0) Qsink[i][jj] = 0.0f;

// calculate supply (x) here
        if  (d[jj] == 0) x[i][jj] = 0.0f;
        else x[i][jj] = (float)(Qinf[jj] + QConect[i][jj] - Qsink[i][jj]);

        // calculate nodal balance here
Balnc[i][jj] = (float)fabs(Qinf[jj] + QConect[i][jj] - x[i][jj] - Qsink[i][jj]);

        if(Balnc[i][jj] > 0.001f){
                if(Qinf[jj] + Qflowinto[i][jj] > 0.0f){
                  constraint1[i][jj] = ((float)(Balnc[i][jj]/(Qinf[jj]+Qflowinto[i][jj])));
       //         constraint1[i][jj] = ((float)(pow(Balnc[i][jj],2)/(Qinf[jj]+Qflowinto[i][jj])));
                }
                else constraint1[i][jj]  = 0.0f;
          sumconstr1[i] = sumconstr1[i] + constraint1[i][jj];
        }

        if(d[jj] != 0)  ratio[i][jj] = x[i][jj]/d[jj];
        else ratio[i][jj] = 0.0f;

        if(x[i][jj] > d[jj])  excess[i][jj] = (x[i][jj] - d[jj])/d[jj];
        else excess[i][jj] = 0.0f;
        sumconstr2[i] = sumconstr2[i] + excess[i][jj];
        pp[i][jj] = (float)fabs((double)(d[jj]-x[i][jj]));
if (d[jj] != 0 ) nodeftnss[i][jj] = (float)(1/d[jj])*((float)pow(pp[i][jj],2));
else nodeftnss[i][jj] = 0.0f;
stringftnss = (float)(stringftnss + nodeftnss[i][jj]);

if (Balnc[i][jj]  <= Accurate) check1[i]++;
if ( x[i][jj] <= d[jj] )       check2[i]++;
```

```
}// end of [jj] loop

  ftnss[i] = (float)(stringftnss + R1*sumconstr1[i] + R2*sumconstr2[i]);
  sumftnss = sumftnss + ftnss[i];

// Approved Fitness Function
            if(bestfit > ftnss[i]){
                    //   printf("Best Fit = %3.5f\n",bestfit);
                    //   printf("Fitnss = %3.5f\n",ftnss[i]);
                    //   printf(" Pop = %d\n",i);
            bestfit= ftnss[i];
                      pofi = i;
                    //   printf(" Pofi = %d\n",pofi);
                    for(jj=0; jj<NNODE; jj++)
                    {
                      pratio[jj] = ratio[i][jj];
                      pnodeftnss[jj] = nodeftnss[i][jj];
                      pBalnc[jj]  =  Balnc[i][jj];
                      pQConect[jj] = QConect[i][jj];
                      pQsink[jj] = Qsink[i][jj];
                      pofx[jj] = x[i][jj];
                    }
                    for(jj=0;jj < NREACH;jj++)
                    {
                              pQ[jj] = Q[jj][i];
                    }
            }
 } // end of i loop

  if(gen == MaxGEN-1 || DELTA_ftnss <= DELTA){
          index = 999;
```

```
printf("Terminate!!! Gen%3d \nPOPSIZE %5d\n", gen+1,POPSIZE);
  printf("bestfit = %8.5f\n",bestfit);
fprintf(f1,"ftnss[pofi] = %8.5f check1 = %2d check2 = %2d\n",ftnss[pofi], check1[pofi],
check2[pofi]);
  printf("ftnss[pofi] = %8.3f check1 = %2d check2 = %2d\n",ftnss[pofi],check1[pofi],
check2[pofi]);
printf(" Pofi = %d\n",pofi);
  fprintf(f1,"Ratio    ");
printf("Ratio x/d=");
for( jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
        printf("%7.3f", pratio[jj]);
        fprintf(f1,"%7.3f", pratio[jj]);
  }
        fprintf(f1,"\n");
        printf("\n");
        fprintf(f1,"nodeftnss");
        printf("nodeftnss=");
        for( jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
                 printf("%7.3f", pnodeftnss[jj]);
                fprintf(f1,"%7.3f", pnodeftnss[jj]);
  }
                fprintf(f1,"\n");
                printf("\n");
                fprintf(f1,"Balnc    ");
                printf("Balnc    =");
                for( jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
                        printf("%7.3f", pBalnc[jj]);
                        fprintf(f1,"%7.3f", pBalnc[jj]);
                }
                fprintf(f1,"\n");
                printf("\n");
```

```
fprintf(f1,"QConect  ");
printf("QConect  =");
for( jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
        printf("%7.3f", pQConect[jj]);
        fprintf(f1,"%7.3f", pQConect[jj]);
         }
fprintf(f1,"\n");
printf("\n");
  fprintf(f1,"Qsink    ");
printf("Qsink    =");
for( jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
        printf("%7.3f", pQsink[jj]);
        fprintf(f1,"%7.3f", pQsink[jj]);
}
fprintf(f1,"\n");
printf("\n");
fprintf(f1,"Supply   ");
printf("Supply   =");
for( jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
                fprintf(f1,"%7.3f",pofx[jj]);
                printf("%7.3f",pofx[jj]);
        }
         fprintf(f1,"\n");
printf("\n");

fprintf(f1,"Demand   ");
printf("Demand   =");
for( jj = 0; jj < nnodes; jj++) {
        fprintf(f1,"%7.3f",d[jj]);
        printf("%7.3f",d[jj]);
  }
```

```
                    fprintf(f1,"\n");
                    printf("\n");
                    fprintf(f1,"Flow     ");
                    printf("Flow     =");
                    for(jj=0;jj < NREACH;jj++){

                        fprintf(f1,"%7.3f",pQ[jj]);
                        printf("%7.3f",pQ[jj]);
                    }
                    fprintf(f1,"\n");
                    printf("\n");

        }// end of if loop

avgftnss = sumftnss/POPSIZE;
minftnss  = ftnss[0];
seton = POPSIZE;
for(i=0; i<POPSIZE; i++) {
  if(ftnss[i]  < minftnss)  minftnss  = ftnss[i];
        if(ftnss[i]  < ftnss[POPSIZE]){
                ftnss[POPSIZE] = ftnss[i];
                seton = i;
        }
}

for(j=0; j<LENGTH; j++){
   Q[j][POPSIZE] = Q[j][seton];
}

printf("Gen.%3d %7.3f %7.3f\n",gen+1,ftnss[POPSIZE],bestfit);
fprintf(f1,"%3d %7.3f %7.3f\n",gen+1,ftnss[POPSIZE],bestfit);
```

```
}
/***********************************/
void Tournament()
{
        int  ii,jj,j,mem;

        for(mem=0; mem < POPSIZE; mem++){

                ii = RandInt(0,POPSIZE-1);
                jj = RandInt(0,POPSIZE-1);

                if(ftnss[ii] <= ftnss[jj]){
                        for(j=0; j<NREACH; j++){
                                mated_pop[mem][j] = Q[j][ii];
                        }
                }

    if(ftnss[ii] > ftnss[jj]){
                        for(j=0; j<NREACH; j++){
                                mated_pop[mem][j] = Q[j][jj];
                        }
                }
        }
}// end of tournament
/*************************************/
/* Routine to crossover population, 1 site */
void XOVER(int i1, int i2)
{
        int j,kk;

        kk = RandInt(0,LENGTH-1);
```

```
        for(j=kk;j<LENGTH;j++)  {
      SwapRealValues(&mated_pop[i1][j],&mated_pop[i2][j]);
   }
}
/************************************/
/* Routine to crossover population, 2-site */
void TPXOVER(int i1, int i2)
{
        int j,kk1,kk2;

        kk1 = RandInt(0,LENGTH-1);
        kk2 = RandInt(0,LENGTH-1); /* this is for 2-site XOVER */
        if (kk1>kk2) SwapIntValues(&kk1,&kk2); /* this is to swap 2-site if the later is less*/

        for(j=kk1;j<kk2;j++)  {
      SwapRealValues(&mated_pop[i1][j],&mated_pop[i2][j]);
   }
}
/*********************************/
// Routine to crossover population, 1 site
void UNIXOVER(int i1, int i2)
{
        int j,kk;

        for(j=0;j<LENGTH;j++)  {
                kk= rand()&01;
                if(kk==1) SwapRealValues(&mated_pop[i1][j],&mated_pop[i2][j]);
   }
}
/*********************************/
```

```
void UniSelectMate()
{
        int  mem, num_select,one;
   float Prob_X;

   num_select = 0;
        for (mem = 0; mem< POPSIZE ; mem++) {
                Prob_X = rand()%1000/1000.0f;
                if (Prob_X < PXOVER){
                        ++num_select;
                        if(num_select%2 == 0){
                                UNIXOVER(one,mem);
                        }
                        else one = mem;

                }
        }
}
/*************************/
void SelectMate()
{
        int  i,j,mem, num_select,one;
   float Prob_X;

   num_select = 0;
        for (mem = 0; mem< POPSIZE ; mem++) {
                Prob_X = rand()%1000/1000.0f;
                if (Prob_X < PXOVER){
                        ++num_select;
//   printf("Prob_X = %3.2f PXOVER =%3.2f num_select = %3d\n",
Prob_X,PXOVER,num_select);
```

```
//   fprintf(f1,"Prob_X = %3.2f PXOVER =%3.2f num_select = %3d\n",
Prob_X,PXOVER,num_select);
//            getchar();
                                    if(num_select%2 == 0){
                                              XOVER(one,mem);
                                    }
                                    else one = mem;


                        }
            }
/****print menu******/
 if ( PrintMENU == 1) {
 fprintf(f1,"AFTER CROSSOVER\n");
            for(i=0;i<POPSIZE;i++) {
      for(j=0;j<LENGTH;j++) {
       fprintf(f1,"%7.3f",mated_pop[i][j]);
              }
      fprintf(f1,"\n");
   }
   fprintf(f1,"end\n");
 }
/******/
}
/*************************************/
void mutatepop(int gen)
{
  int i,j,mutant;
  double r;


              for (i=0;i<POPSIZE;i++) {
                        for (j=0;j<LENGTH;j++) {
```

```
            r = rand()%1000/1000.0;

//this is Modified uniform mutation
/*                          if(r<Pmutate){
                                mutant = rand()&01;
                                 if (mutant==1)   mated_pop[i][j] = mated_pop[i][j] +
(float)Modi_muta;
                                 else mated_pop[i][j] = mated_pop[i][j] - (float)Modi_muta;
                                 if (mated_pop[i][j] < lower[j]) mated_pop[i][j] = lower[j];
                                 if (mated_pop[i][j] > upper[j]) mated_pop[i][j] = upper[j];
                            } */
/*this is non-uniform mutation */

                            if(r<Pmutate){
                            mutant = rand()&01;
                                if(gen < MaxGEN*0.25){
                                        if (mutant==1){
                              mated_pop[i][j] = mated_pop[i][j] + (float)Modi_muta;


                                        }
                                        else mated_pop[i][j] = mated_pop[i][j] -
(float)Modi_muta;
                                }
                                else if((gen >= MaxGEN*0.25) && (gen < MaxGEN*0.5)){


            if (mutant==1){
                              mated_pop[i][j] = (float)(mated_pop[i][j] + (float)Modi_muta/2);


                                 }
                            else mated_pop[i][j] = (float)(mated_pop[i][j] -
(float)Modi_muta/2);
```

```
                                        }
                else if((gen >= MaxGEN*0.5) && (gen < MaxGEN*0.75))
                                                if (mutant==1){
                    mated_pop[i][j] = (float)(mated_pop[i][j] + (float)Modi_muta/4);


                                                }
                                                else mated_pop[i][j] = (float)(mated_pop[i][j] -
(float)Modi_muta/4);
                                        }
                else {
                  if (mutant==1){
                                        mated_pop[i][j] = (float)(mated_pop[i][j] + (float)Modi_muta/6);
                                          }
                                      else mated_pop[i][j] = (float)(mated_pop[i][j] -
(float)Modi_muta/6);
                                        }


                                    if ( mated_pop[i][j] < 0.0f)    mated_pop[i][j] = 0.0f;
                                    else if ( mated_pop[i][j] > upper[j]) mated_pop[i][j] = upper[j];
                                        } // close Modified uniform here


                                        for(j=0;j<LENGTH;j++)  {
                                                Q[j][i] = mated_pop[i][j];
                                        }
                }
/****print menu******/
 if ( PrintMENU == 1) {
 fprintf(f1,"AFTER MUTATION\n");
   for(i=0;i<POPSIZE;i++) {
     for(j=0;j<LENGTH;j++) {
       fprintf(f1,"%7.3f",mated_pop[i][j]);
```

```
      }
      fprintf(f1,"\n");
    }
    fprintf(f1,"end\n");
    fprintf(f1,"\n");
  }

}
/****************************************/
 /* Routine to print error message */

void nrerror(char *messg)
{
            puts(messg) ;
    exit(1) ;
}
 /****************************************/
/* Routine to swop value */

void SwapIntValues(int *xx, int *yy)
{
            int temp;
            temp = *xx;
            *xx=*yy;
            *yy=temp;
}
 /****************************************/
void SwapRealValues(float *xx, float *yy)
{
            float temp;
            temp = *xx;
```

```
        *xx=*yy;
        *yy=temp;
}
/****************************************/
```

ภาคผนวก จ

แสดงข้อมูลการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย

Comparison of Genetic Algorithm and WASAM model for Real Time Water Allocation: A Case Study of Song Phi Nong Irrigation Project

Bhaktikul, [1]K., Soiprasert , N[2]. and Sombunying, W[3].

[1]Associate Professor, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakonpathom, Thailand. E-mail: enkpd@mahidol.ac.th
[2]Irrigation Engineer, Royal Irrigation Department, Thailand
[3]Water Resources Engineer, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand
E-mail: womgwatana@gmail.com

Abstract

In Thailand, Water Algorithm Scheduling and Monitoring (WASAM) model is the popular model that used in water planning and water allocation in irrigation systems. Disadvantage of this model is that it can not operate in water allocation for irrigation schemes in drought period which natural flow or regulated flow is less than the overall water requirements in the system. Recently, Genetic Algorithm (GA) has become popular among researchers on water resources management in a wide variety of problems.

The main purpose of this research is to apply a GA to the management of real time water allocation in Song Phi Nong Irrigation Project which covers area of 300,000 rai and 32 irrigation schemes. An optimization approach based on GA is described.The objective function is to minimize water shortage for the whole irrigation schemes and maintain the equitable manners on water allocation.

The results of the GA were compared with WASAM model for water allocation in 3 cases; drought, normal and flood periods. It is concluded that GA offers the advantage over the WASAM model for water allocation in drought period to each irrigation scheme in a more Equitable style. WASAM can operate for equitable water allocation only when normal stage not in the drought period.

Keyword: Genetic Algorithm, Real Time Water Allocation, WASAM

Introduction

The real time allocation of water supplies in irrigation system is important. Because the over Water supplies to water demand take the loss of opportunity for saving water supply to the next crop periods or to the next irrigation system in downstream and the unfair in sharing the water supplies in drought period take the conflict in water use of farmers.

In Thailand, most of models used in allocation of water supplies problems have limitations especially in application for critical situations in the drought period when water supplies are less than overall water demand in each irrigation system. To find the appropriate solution, various optimization techniques have been applied in this problem such as quadratic programming (QP) by Wardlaw and Barnes (1999), and Genetic Algorithm (GA) technique by Wardlaw and Bhaktikul (2001, 2004a, 2004b).

This study presents two water allocation models applying with three scenarios at drought, normal and flood periods. The first model is called WASAM, and has been widely use in irrigation system by the Royal Irrigation Department. The second model was GA which was developed by Wardlaw and Bhaktikul (2001).

Study Area

The WASAM and GA for water allocation problems have been applied to the irrigation system of Song Phi Nong in Suphanburi, Thailand. The network diagram for the system is shown in Figure 1. It comprises 32 reaches and 33 nodes.

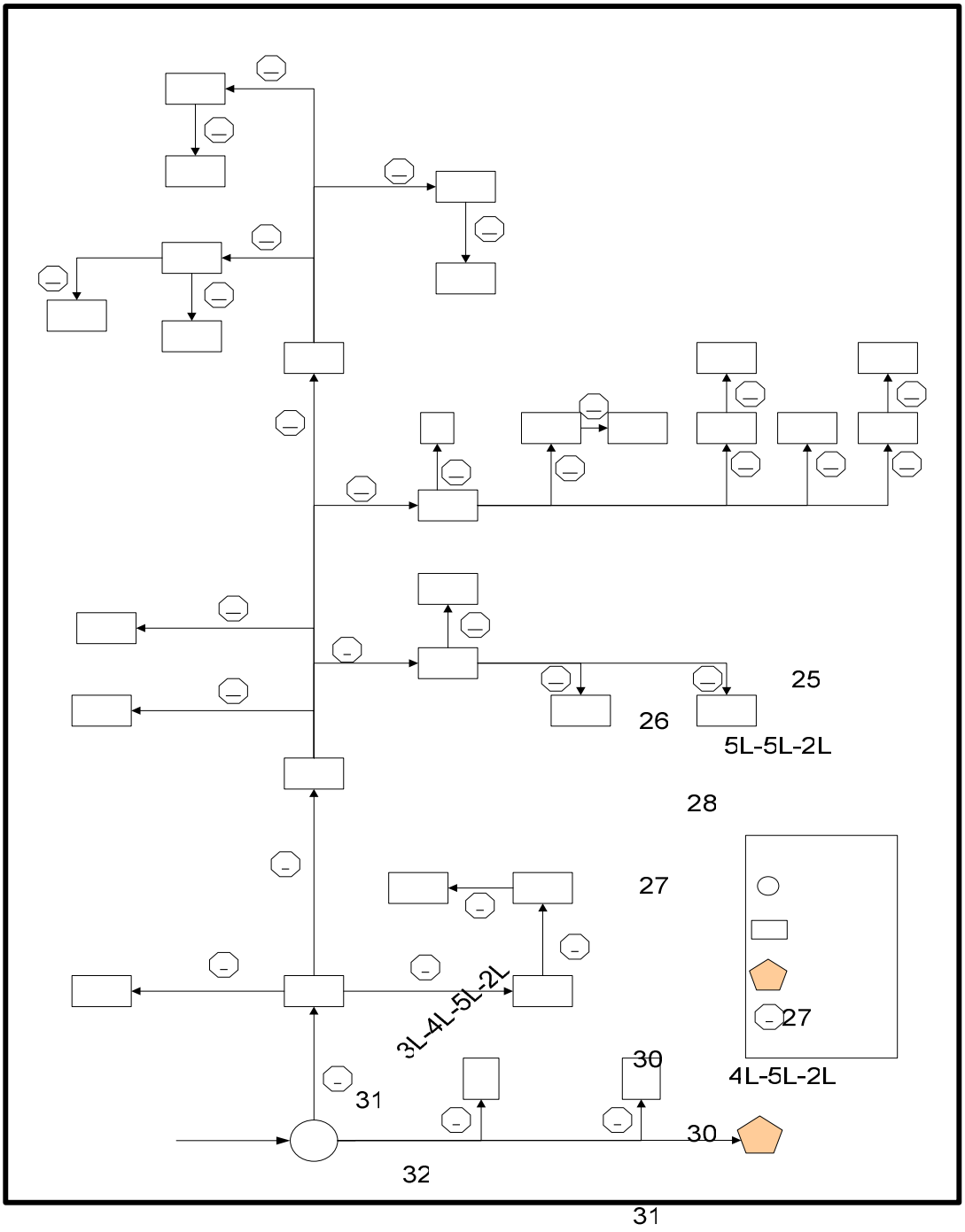


Figure 1: Schematic of the Song Phi Nong irrigation system

Basis of Genetic Algorithms

A GA is a random search algorithm that provides a robust method for searching for the optimum solution to complex problems (Goldberg 1989). In a GA, the problem is represented by a population of string (or chromosome, in biological terminology). Each string comprises a number of blocks, which represent the individual decision variables of the problem (genes, in biological terminology). The variables represented in the string can be processed in an evaluation function or fitness function, which is in effect the objective function.

In early GAs, decision variables were represented in binary coding in which each block, or gene, is further broken down into a series of binary digits (Goldberg 1989). It has been demonstrated [for example, Wardlaw and Sharif (1999)] that real-value representation, in which genes represent a single variable as a real number, offer a significant advantage over binary coding for some problems.

Strings are processed and combined according to their fitness (objective function value) in order to generate new strings that contain the best features of two parent strings. Strings with the highest fitness have the greatest chance of contributing to future generations, as in the process of natural selection. Excellent introductions to GAs are giving by Goldberg (1989) and Michalewicz (1992).

Fundamental Operators of Genetic Algorithms

Three fundamental operators are involved in manipulating strings and moving to a new generation: selection, crossover, and mutation. The approach taken to the operators of selection, crossover, and mutation can influence the results obtained, and different problems may require different approaches.

Selection

The selection operator is that through which strings are selected for inclusion in the reproduction process and for participation in the next generation. The fittest strings have the highest probability of being used in reproduction. There are a number of approaches to selection, all of which determine the probability of selection as a function of fitness. A brief review of alternative selection schemes has been given by Wardlaw and Sharif (1999), from which it is clear that tournament selection (Goldberg and Deb 1991; Yang and Soh 1997) offers a means of maintaining diversity in the population.

Crossover

Crossover is an extremely important part of a GA.The crossover operator permits the exchange of blocks of information between pairs of strings in population. This operator offers the possibility of good genetic material from different individual strings being combined to create an even fitter individual. The operator is intended to preserve the best material from two parent strings. The number of strings in which material is exchanged is controlled by the crossover probability, which is an input to a GA and is normally in the range of 0.5 and 1.0. Three

approaches to crossover are described by Goldberg (1989) and Michalewicz (1992): one-point crossover, two-point crossover, and uniform crossover. An excellent summary of these crossover operators has been given by Wardlaw and Sharif (1999).

Mutation

The mutation operator permits new genetic material to be introduced into a population. A mutation probability can be specified that permits random mutation. In binary representation, individual alleles or bits of a gene simply have their values changed from 0 to 1 or vice versa. For real-value representation, Michalewicz (1992) has outline two basic approaches to mutation: uniform and non-uniform. In uniform mutation, the value of a gene can be mutated randomly within its feasible range of values, while modified uniform mutation permits modifications of a gene by a specified amount. In non-uniform mutation, the amount by which genes can be mutated is reduced as the run progresses, thereby reducing the risk of disturbing good solutions.

The Water Allocation Problem

The real time water allocation problem addressed is one of ensuring the equitable distribution of irrigation water supplies within an irrigation system. It is neither a planning problem, in that crops are assumed to be in the ground, nor is it a scheduling problem, in that irrigation supplies are assumed to be run of river and in scheme scheduling is not considered.

The objective function

Wardlaw and Barnes (1998) have demonstrated that the objective function that preserves equity may be written as

$$Minimize\ \ \mathrm{Z} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \frac{(\mathrm{di} - \mathrm{xi})^2}{d_i} \qquad (1)$$

Where n is the number of irrigation schemes, d_i the irrigation demand for schemes i and x_i the irrigation supply to schemes i.

Three basic constraints must be satisfied in finalizing a solution to the problem. These are the reach capacity constraints, the nodal water balance constraints and the schemes supply constraints. Referring to Figure I, the constraints may be defined as follows:

1. *Capacity constraint:*

$$Q_{ij} \leq q_{max\,ij} \qquad (2)$$

where Qij is the flow to node j from node i and q maxij the maximum capacity of canal connecting nodes i and j (or reach capacity).

2. *Nodal balance constraint:*

$$Q\,inf_i + \sum_{j=1}^{m} qji - x_i - Q\,sin\,k_i = 0 \tag{3}$$

where i,j are the node references, Qinf i the external inflow to node i (i.e. not from the canal system), Q ij the flow in canal connecting nodes, x i the water supply to irrigation schemes i, Qsink i the outflow to system sink and m the number of reaches connected to node i.

3. *Supply constraint:*

$$x_i \le d_i \tag{4}$$

where d_i is the irrigation demand of schemes *i*.

Penalty function and penalty factors

In a GA, it is necessary to introduce penalty functions to ensure that the system constraints are satisfied. In effect, the requirement is to demote or exclude chromosomes that to not satisfy the system constraints. There are three components to the penalty function used for the water allocation problem as shown below:

1. If nodal balance > 0.001

$$P1 = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{Q\,inf_i + \sum_{j=1}^{m} Q_{ij-x_i-Q}\ \text{sinki}}{\mathrm{Q}_{\mathrm{inf}_i} + \sum_{j=1}^{r} Q_{ij(in)}} \right| \tag{5}$$

where $Q_{ij(in)}$ is the flow(s) into node i and r the number of reaches flow into node *i*.

2. If x i > di

$$P2 = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{x_i - d_i}{d_i} \right| \tag{6}$$

These penalty functions could be used in quadratic form in order to increase the sensitivity to violation (Goldberg, 1989). A penalty factor (R) is used to weight the penalty functions and the objective function may be rewritten as

$$Minimise\ \mathrm{Z} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(d_i - x_i^2\right)}{d_i} + R1P1 + R2P2 \tag{7}$$

Development of a GA for Water Allocation

To solve the water allocation problem using GA, it is necessary to construct a chromosome representing canal flow in all 32 canals and from there to derive irrigation supply from the nodal water balance. A series of sensitivity were carried out to establish appropriate parameter include crossover probability, mutation probability, modified mutation value and penalty factor of objective function.

The best results are achieved with crossover probability of 0.7, although acceptable results are obtained over a fairly wide range as shown in Figure 2. The optimum mutation probability was 0.1 as shown in Figure 3 and modified mutation value was 0.003. For the penalty factor, the appropriate value was achieved from the series of model runs and the nodal water balance constraints must be satisfied where balance < 0.001 m /s. It is ^{3}found that penalty factor (R1) was very important. If R1 was less than 24, the nodal water balance constraints will not satisfied which take error in the range of 0.002-13.819 m /s. The ^{3}suggested R1 value was 26 which give the nodal water balance 0.000 m /s^{3}

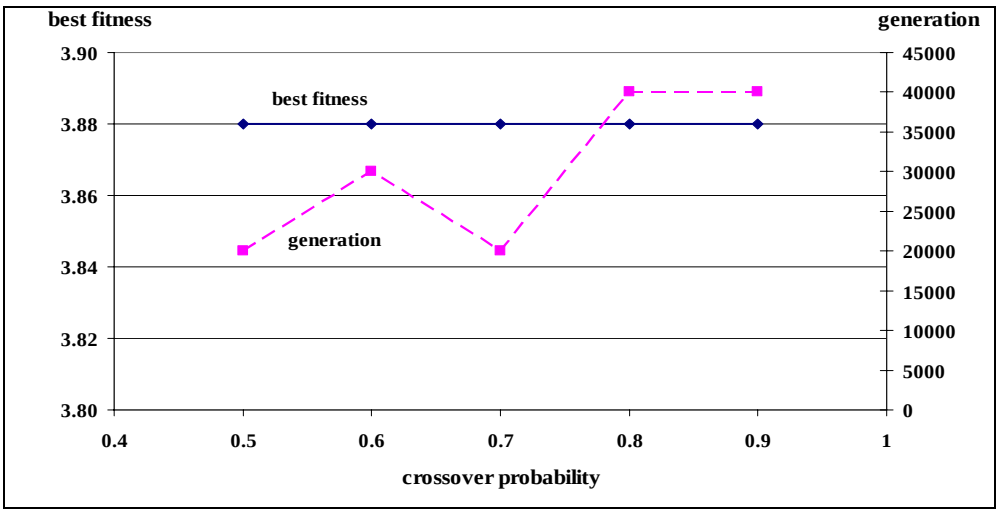


Figure 2: Sensitivity of crossover probability

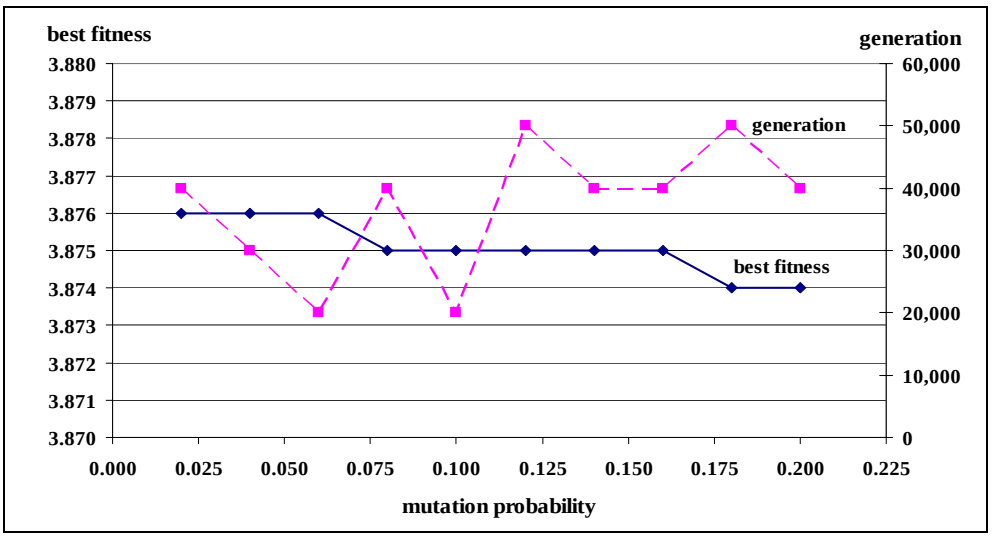


Figure 3: Sensitivity of mutation probability

Application and Results

The weekly overall water demands in dry season of Song Phi Nong system were estimated by WASAM model. The four simulated water demand scenarios were selected where time Requirement of water supply were minimum (week 22), average (week 6, 23) and peak demand

(week 16) as shown in Table 1.

Tables1: Weekly water demand for Song Phi Nong irrigation system

Canal Number	Water Demand (m^3/s)				$Q_{capacity}$ (m^3/s)
	week6	week16	week22	week23	
1	1.166	1.736	1.115	1.139	82.983
2	0.538	0.969	0.483	0.502	45.731
3	0.227	0.409	0.174	0.179	0.642
4	1.118	2.167	1.002	1.046	4.911
5	0.433	0.913	0.405	0.427	2.328
6	0.434	0.906	0.399	0.420	1.453
7	1.070	2.072	0.896	0.932	3.162
8	0.838	1.628	0.847	0.823	2.105
9	3.000	5.65	3.381	1.466	45.731
10	1.575	2.952	1.749	0.776	9.036
11	1.374	2.521	1.391	0.479	3.314
12	0.514	1.096	0.561	0.55	1.596
13	0.496	1.081	0.000	0.779	1.452
14	0.655	0.982	0.492	0.143	1.456
15	0.334	0.458	0.246	0.066	1.041
16	3.104	3.140	0.000	2.211	20.249
17	0.312	0.282	0.000	0.187	0.695
18	1.669	1.543	0.000	1.043	3.641
19	0.171	0.164	0.000	0.112	0.675
20	1.054	1.232	0.000	0.854	6.602
21	1.856	1.709	0.000	1.176	4.286
22	0.121	0.194	0.000	0.14	0.402
23	0.705	0.886	0.000	0.601	3.402
24	0.643	0.591	0.000	0.390	2.066
25	2.466	3.169	2.021	0.962	29.357
26	1.892	1.724	0.326	1.015	6.254
27	1.205	1.072	0.135	0.596	2.359
28	0.986	0.881	0.123	0.494	2.177
29	0.192	0.17	0.017	0.093	0.530
30	0.991	1.644	0.915	0.332	5.287
31	0.387	0.559	0.299	0.078	0.649
32	0.354	0.445	0.472	0.058	0.659
Total	31.880	44.495	17.449	20.069	

By varying the range of water supply into the irrigation system was equal to 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.2 and 1.5 times in each overall weekly water demand, the effective of WASAM and GA were compared and discussed below.

For drought period which water supply less than 1.0 time of water demand, it is found that GA model give equity in supply in each canal. The ratio of water supply to demand was nearly equal to 0.6, 0.7, 0.8, and 0.9 in every week that follow by water supply quantity as shown in Table 2 and Figure 4. But WASAM model can not operate in this period.

For normal and flood period which water supply not less than 1.0 time, it is found that both GA and WASAM models give the similar result. The ratio of water supply to demand was equal to 1.0 in WASAM model and was nearly equal to 1.0 in GA model. This difference was depended on the decimal of accuracy of calculation in GA model as shown in Table 2 and Figure 4.

Tables 2: Supply / Demand ratio by GA

a) Water supply = 0.6 times water demand

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
6	0.59	0.62	0.60
16	0.59	0.61	0.60
22	0.58	0.61	0.60
23	0.59	0.61	0.60

b) Water supply = 0.7 times water demand

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
6	0.69	0.71	0.70
16	0.70	0.70	0.70
22	0.69	0.71	0.70
23	0.67	0.72	0.70

c) Water supply = 0.8 times water demand

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
6	0.79	0.81	0.79
16	0.79	0.81	0.80
22	0.79	0.82	0.80
23	0.79	0.82	0.80

d) Water supply = 1.0 times water demand

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
6	0.99	1.00	1.00
16	0.99	1.00	1.00
22	0.99	1.00	0.99
23	0.98	1.00	0.99

f) Water Supply = 1.2 times water demand

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
6	0.98	1.0	0.99
16	0.99	1.0	1.00
22	0.99	1.0	0.99
23	0.98	1.0	0.99

g) Water Supply = 1.5 times water demand

Week	supply / demand ratio		
	Min	Max	Mean
6	0.99	1.00	0.99
16	0.98	1.00	1.00
22	0.96	1.00	0.99
23	0.98	1.00	0.98

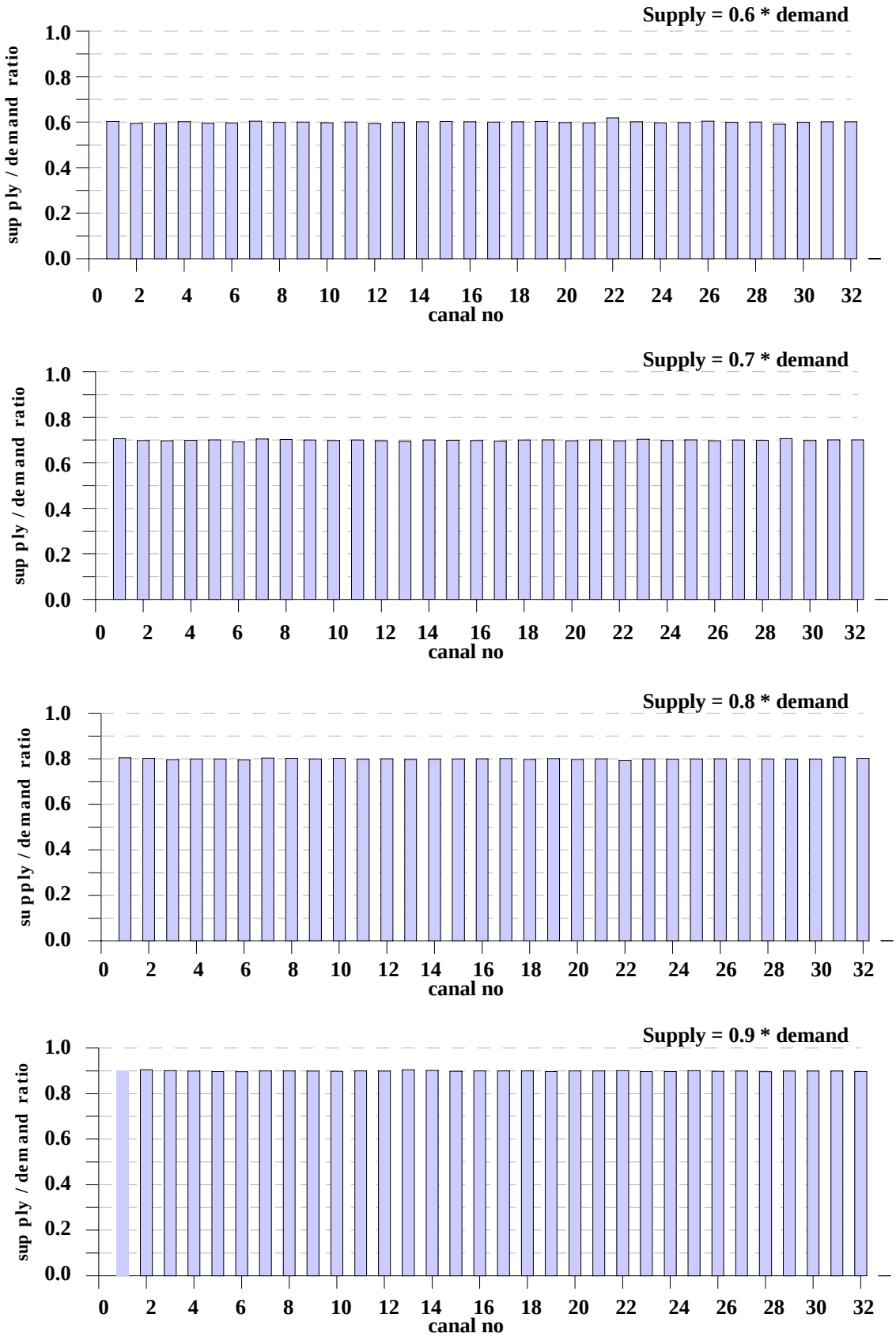


Figure 4: Supply / Demand ratio in each canal (week 6)

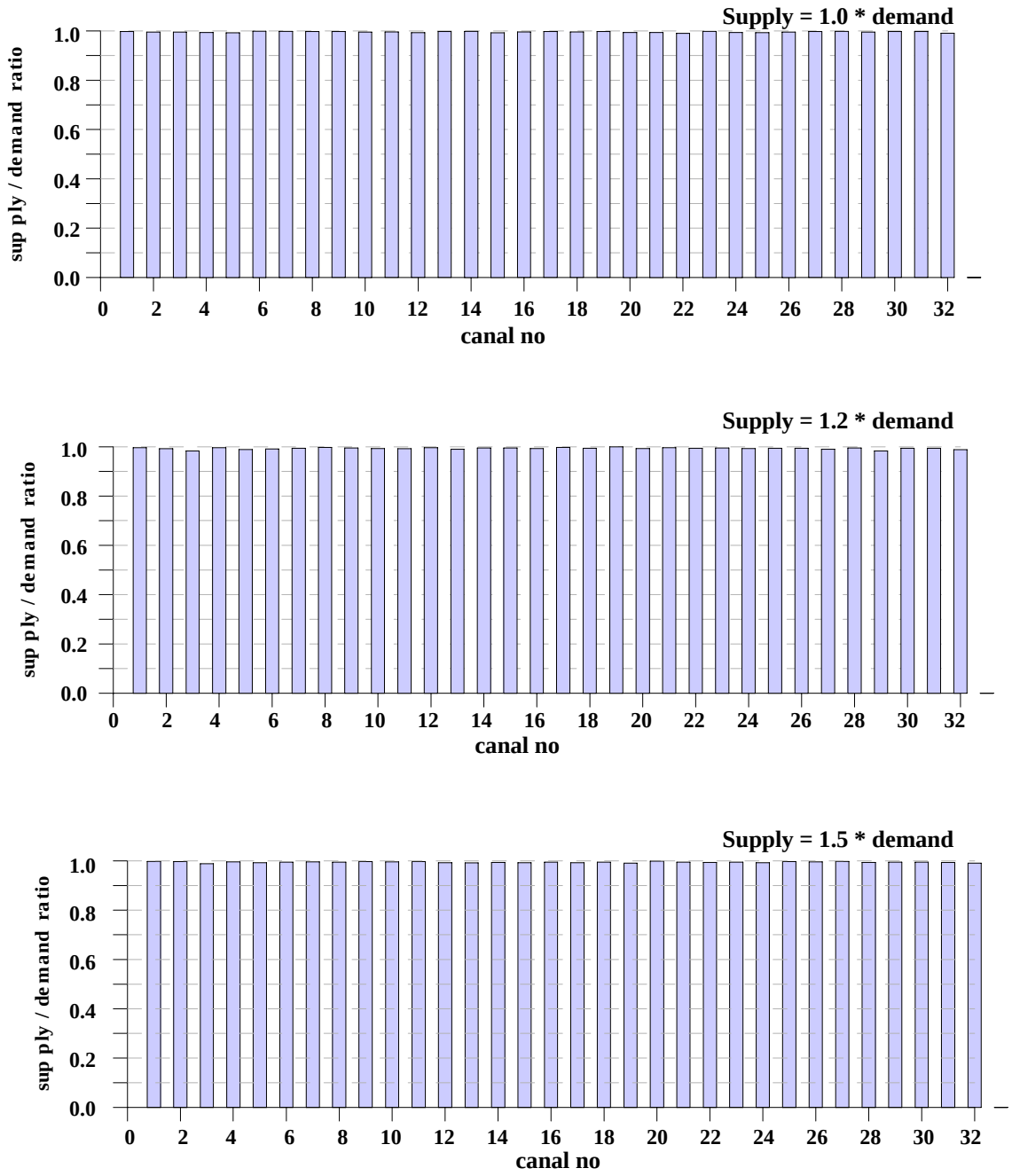


Figure 4(cont): Supply / Demand ratio in each canal (week 6)

Conclusion

It has been demonstrated that optimization techniques such as GA was an attractive alternative for solving water allocation problem with complex network system. The solution of the water allocation problem can be achieved that are provided by WASAM in case with water supply was not less than water demand. The major advantage of using GA that it was achieved the equity supply in each canal in any weekly in drought period.

References

[1] Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in search optimization & machine learning. Addision- Wesley, Reading, Mass. USA, 1989.

[2] Goldberg, D.E. and Deb K. A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms. Foundation of genetic algorithms. Morgan Kaufman. San Mateo. Calif, 1991.

[3] Michalewicz, Z. Genetic Algorithms + data structure = evolution programs. Springer-Verlag, New York, Inc., New York, 1992.

[4] Wardlaw, R.B., and Barnes, J.M. "Optimal allocation of irrigation water supplies in real time." J. Irri. And Drainage Engrg., ASCE 125(6), 1999, pp.345-354.

[5] Wardlaw, R.B., and Bhaktikul, K. "Application of a genetic algorithms for water allocation in an irrigation system." J. Irrigation and Drainage. ICID, CIID. John Wiley & Sons. 50, 2001, pp.159-170.

[6] Wardlaw R, and Bhaktikul K. Comparison of genetic algorithm and linear programming approaches for lateral canal scheduling. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. American Society of Civil Engineer (ASCE). 130, 2004a, pp. 311-7.

[7] Wardlaw R and Bhaktikul K. Application of a genetic algorithm for irrigation water scheduling. International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) Journal 2004; 53 (2 Issue), 2004b, pp. 397-414.

[8] Wardlaw, R.B., and Sharif, M. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. J.Water Resour. Planning. and Mgmt., (ASCE). 125, 1999, pp. 25-33.

[9] Yang, J. P., and Soh, C.K. "Structural optimization by genetic algorithms with tournament selection." J. of Comp. in Civ.. Engrg., ASCE, 11 (3), 1997, pp. 195-200.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-สกุล	:	นายณัฐวุฒิ สร้อยประเสริฐ
วัน เดือน ปี เกิด	:	วันพุธที่ 16 เดือน กันยายน พ.ศ. 2507
สถานที่เกิด	:	อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	:	วศ.บ. (วิศวกรรมชลประทาน) ม.เกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2545)
ตำแหน่งปัจจุบัน	:	นายช่างชลประทาน 6
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	:	โครงการชลประทานระยอง อำเภอเมือง จังหวัดระยอง