บทที่ 5

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแยกกล่าวเป็น การพัฒนาโปรแกรม GAs สำหรับการวางแผนการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ การประยุกต์โปรแกรม GAs เพื่อหาเกณฑ์ปฏิบัติการรวมของปริมาณน้ำควบคุมอ่างเก็บน้ำ การหาเกณฑ์ปฏิบัติย่อยของปริมาณน้ำควบคุมอ่างเก็บน้ำ และการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับการปฏิบัติการจริงของอ่างฯ

5.1 การพัฒนาโปรแกรมGA

การพัฒนาโปรแกรม GAsเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ภาษาซี เป็นเครื่องมือเพื่อใช้หาค่าความเหมาะสม และพัฒนากระบวนการตัดสินใจเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดการน้ำอย่างเหมาะสม โดยการหาค่าความเหมาะสมของกรณีศึกษานี้ได้ใช้วิธีการ Coding Chromosome แบบ Real Value, วิธีการ Selection แบบ Tourmament Selection, วิธีการ Crossover แบบ 2-Point Crossover และวิธีการ Mutation แบบ Modified Uniform Mutation

5.1.1 การกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

ในการศึกษานี้เป็นการคำนวณรายเดือน โดยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นฟังก์ชั่นที่คำนวณหาความแตกต่างน้อยที่สุดระหว่างความต้องการใช้น้ำ(demand) กับปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ (Outflow) โดยคำนวณในเทอมของการหาค่าต่ำสุดของผลรวมของค่าผลต่างกำลังสองระหว่างค่าความต้องการใช้น้ำ กับค่าการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ซึ่งในกรณีที่มีการขาดแคลนน้ำก็จะจัดให้มี อัตราส่วนของการขาดแคลนน้ำต่อความต้องการใช้น้ำในแต่ละเดือนให้เท่าเทียมกัน

$$\text{Min.}Z = \sum_{t=1}^{n} \frac{(D_t - X_t)^2}{D_t} \qquad (5.1)$$

เมื่อ Dt = ปริมาณความต้องการน้ำเดือนที่ t (ล้าน ลบ.ม.)

Xt = ปริมาณการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำเดือนที่ t (ล้าน ลบ.ม.)

n = จำนวนเดือนทั้งหมด

ข้อจำกัดของการจัดการน้ำ (Constraints)

ก)ข้อจำกัดด้านความจุอ่างที่ระดับเก็บกัก และระดับต่ำสุด

$$Smin \leq St \leq Smax$$

เมื่อ Smax = ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุด 960 ล้าน ลบ.ม.

Smin = ปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุด 200 ล้าน ลบ.ม.

St = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำในเดือนที่ t (ล้าน ลบ.ม.)

ข) ข้อจำกัดด้านการรักษาสภาพสมดุลทางด้านสิ่งแวดล้อม และนิเวศวิทยาของลำน้ำ โดยกำหนดให้ต้องมีการปล่อยน้ำอย่างน้อย 6 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แต่ในทางปฏิบัติของโครงการส่งน้ำเขื่อนป่าสักฯเลือกใช้ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที(อรอนงค์ 2546) การศึกษานี้จึงเลือกใช้ค่าการปล่อยน้ำต่ำสุด 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีเพื่อรักษาสมดุลของสภาพลำน้ำ (26 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน)

ถ้าการปล่อยน้ำมากกว่า 26 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน ก็จะไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับแก้ โดยกำหนดให้ P1 = 0 แต่ถ้าการปล่อยน้ำน้อยกว่า 26 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน ต้องมีตัวคูณปรับแก้ นั่นคือต้องมีการคำนวณหาค่าP1จากสมการที่ 5.2 เพื่อให้ได้การระบายน้ำมีปริมาณอย่างน้อย 26 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน ในรุ่นถัดไป(Next Generation) นั่นคือ

ถ้า $Xt \geq$ 26 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน ให้ P1 = 0

แต่ถ้า $Xt \leq$ 26 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน

ให้ $P1 = \sum_{t=1}^{n} (26 - X_t)^2$ (5.2)

ค)ข้อจำกัดด้านการระบายน้ำ เนื่องจากสามารถระบายน้ำด้านท้ายน้ำไม่เกิน 600 ลูก บาศก์เมตรต่อวินาที (1555.2 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน) ถ้าการปล่อยน้ำน้อยกว่า 1555.2 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน ก็จะไม่ต้องใช้ตัวคูณปรับแก้โดยกำหนดให้ P2 = 0 แต่ถ้าการปล่อยน้ำมากกว่า 1555.2 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน ต้องมีตัวคูณปรับแก้นั่นคือต้องมีการคำนวณหาค่าP2จากสมการที่ 5.3 เพื่อให้การคำนวณหาค่าการปล่อยน้ำจากอ่างฯรุ่นถัดๆไปมีค่าน้อยกว่า 1555.2 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน นั่นคือ

ถ้า $Xt \leq$ 1555.2 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน ให้ P2 = 0

แต่ถ้า $Xt \geq$ 1555.2 ล้าน ลบ.ม.ต่อเดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ให้ P2 = $\sum_{t=1}^{n}(X_t - 1555.2)^2$ (5.3)

ดังนั้นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์จึงกำหนดรวมค่าปรับแก้เขียนใหม่เป็น

Min.Z = $\sum_{t=1}^{n}\frac{(D_t - X_t)^2}{D_t}$ + R1 P1 + R2 P2 (5.4)

เมื่อ R1 ,R2 = Penalty Factor (Weight Factor) สำหรับแต่ละ Penalty Function ในการศึกษาจะมีการหาค่า ที่เหมาะสมโดยการ Trial & Error ใน GAs ต่อไป

P1 = Penalty Function ตัวที่ 1 สำหรับการปล่อยน้ำน้อยกว่า 26 ล้าน ลบ.ม.

P2 = Penalty Function ตัวที่ 2 สำหรับการปล่อยน้ำมากกว่า 1555.2 ล้าน ลบ.ม.

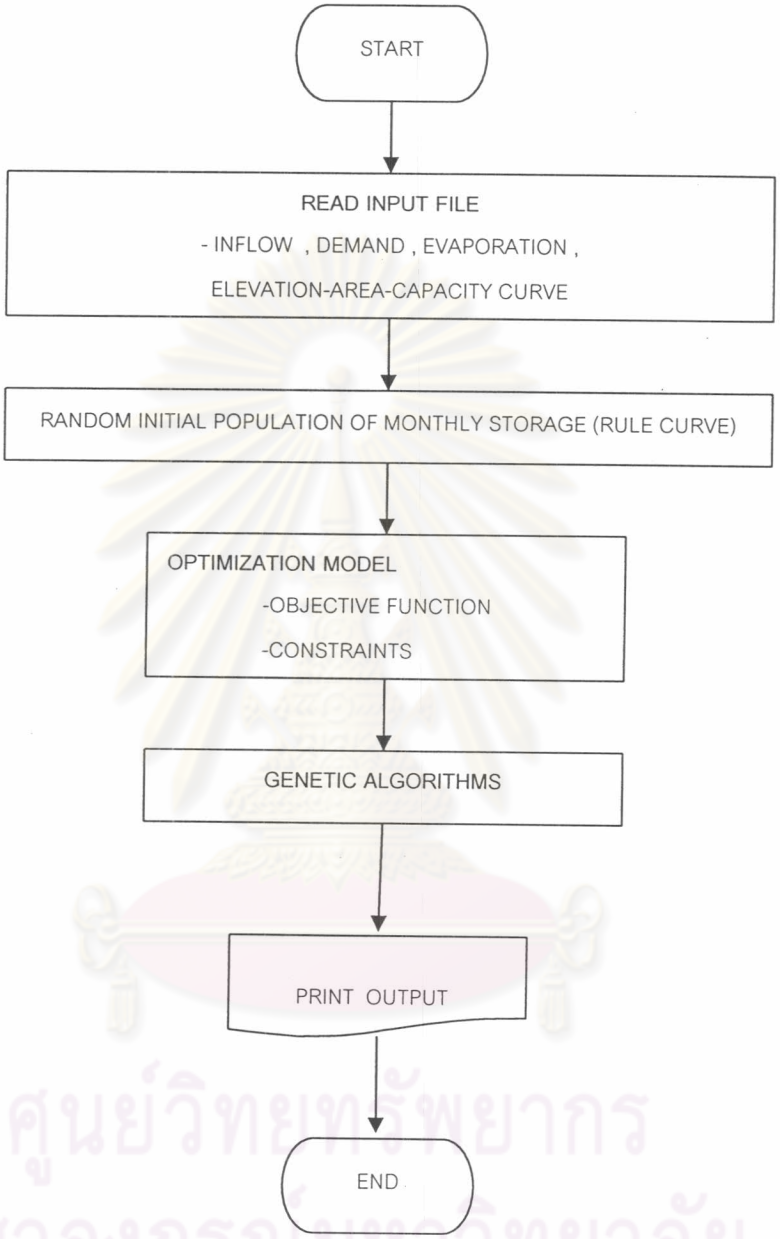
5.1.2การพัฒนาโปรแกรม Genetic Algorithms ด้วยภาษาซี

โปรแกรมที่สร้างขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วน คือส่วนรับข้อมูล ส่วนการคำนวณหาค่าความเหมาะสมและส่วนแสดงผล ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงในรูปที่ 5.1

ส่วนของการรับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนในแต่ละปี ปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละปี อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ-ความจุของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด-สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก ซึ่งใช้เป็นค่าที่อยู่ในช่วงของการสุ่มหาปริมาณน้ำในอ่างทั้ง 12 เดือน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ควบคุมปริมาณน้ำให้อยู่ในช่วงดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้น ถ้าเลือกใช้ 100 ชุดข้อมูล (Population Size) ก็จะมีข้อมูลปริมาณน้ำเก็บกับควบคุมเริ่มต้น 1200 ค่า

ส่วนของการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของปริมาณน้ำควบคุมรายเดือน เริ่มจากการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำด้วยสมการสมดุลน้ำ ซึ่งมีตัว ไม่ทราบค่า (Unknown) เป็นค่าระดับเก็บกักในแต่ละเดือน รวม 12 ค่า สามารถหาได้โดยสุ่มเลือก (Random) จากระดับเก็บกักต่ำสุดถึงระดับสูงสุด แทนค่าลงในสมการสมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำ เมื่อได้ค่าการปล่อยน้ำแล้วก็นำไปแทนค่าลงในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ เพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมต่อไป

ส่วนแสดงผล เป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยแสดงค่า ปริมาณการเก็บกักที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละเดือน รวมทั้งแสดงค่าการระเหย และการรั่วซึม ซึ่งจะได้ค่า



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังกล่าวข้างต้นเหมือนกันทุกปี ส่วนอัตราการปล่อยน้ำ การขาดน้ำ และน้ำส่วนเกินจากความต้องการใช้น้ำหรือน้ำส่วนเกินจากการรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ มีความแตกต่างกันในแต่ละปี

ในขั้นตอนหาค่าความเหมาะสมด้วย GAs นั้น ได้เลือกใช้

1. วิธีการ Coding Chromosome แบบ Real Value
2. วิธีการ Selection แบบ Tourmament Selection
3. วิธีการ Crossover แบบ Uniform Crossover
4. วิธีการ Mutation แบบ Modified Uniform Mutation

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการต่าง ๆ ข้างต้นสามารถเขียนเป็นแผนผังเพื่อนำไปสร้างโปรแกรมได้ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ถึง 5.5

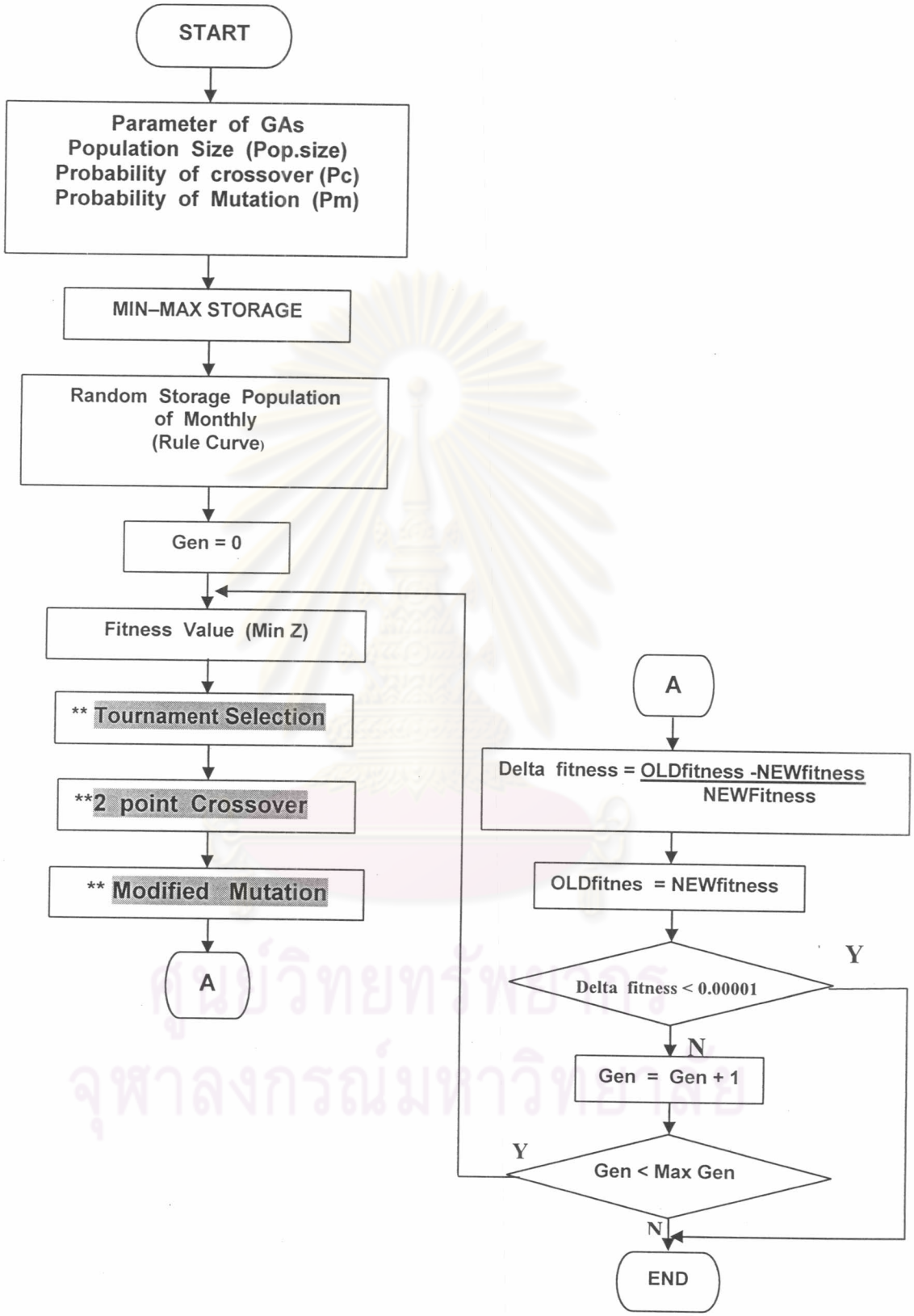
โปรแกรม Genetic Algorithmsนี้ เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการวางแผนการปล่อยน้ำจากเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ โดยใช้ภาษาซี เพื่อให้มีความสะดวกในการใช้งานในตัวแปรและการคำนวณต่างๆ โปรแกรมประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้

Heading คือส่วนที่ขึ้นต้นด้วย # include เป็นคำสั่งซึ่งเขียนไว้ในตอนต้นของโปรแกรมเพื่อเรียงคำสั่งย่อยออกมาใช้ เช่นเพื่อการ คำนวณ เพื่อจับเวลา เพื่อกำหนดค่าต่างเป็นต้น

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

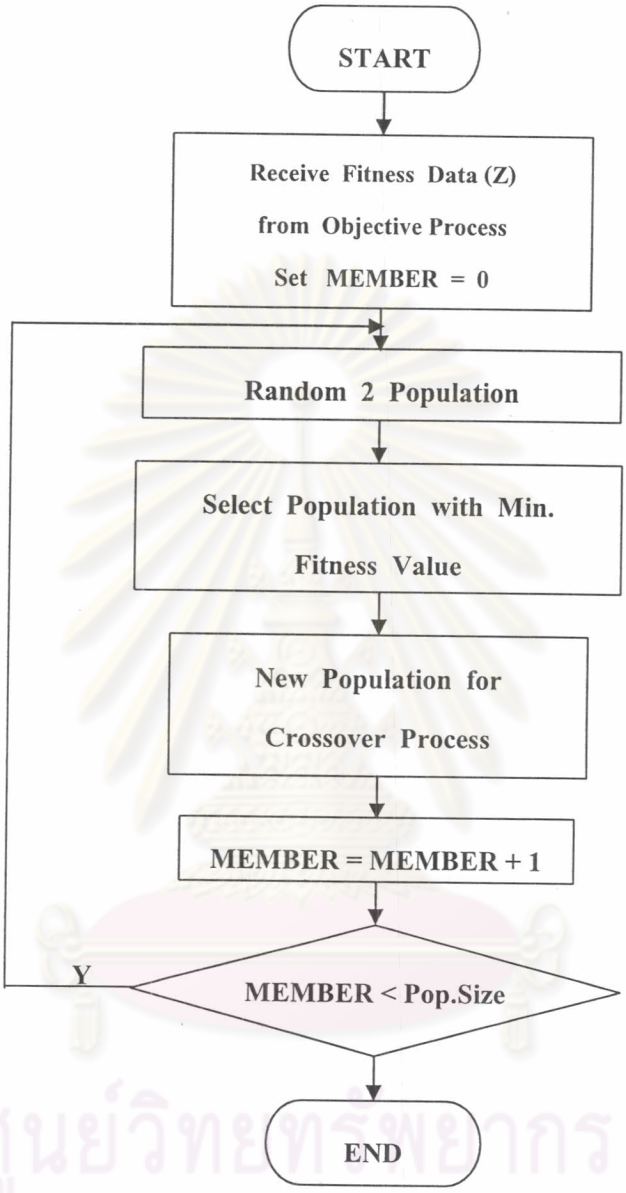
Global Variables คือ ส่วนที่อยู่หลัง # define ในตอนต้นของโปรแกรม เป็นคำสั่งที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ ค่านี้จะเป็นค่าคงที่ไม่ว่าจะปรากฏอยู่ที่ส่วนใดของโปรแกรมก็ตาม

```
#define POPSIZE  120
#define LENGTH   12
#define MaxGEN   40000
#define Pmutate  0.08
#define PXOVER   0.95
#define Accurate 0.001
#define INTERVAL 300
#define DELTA    0.00001
```



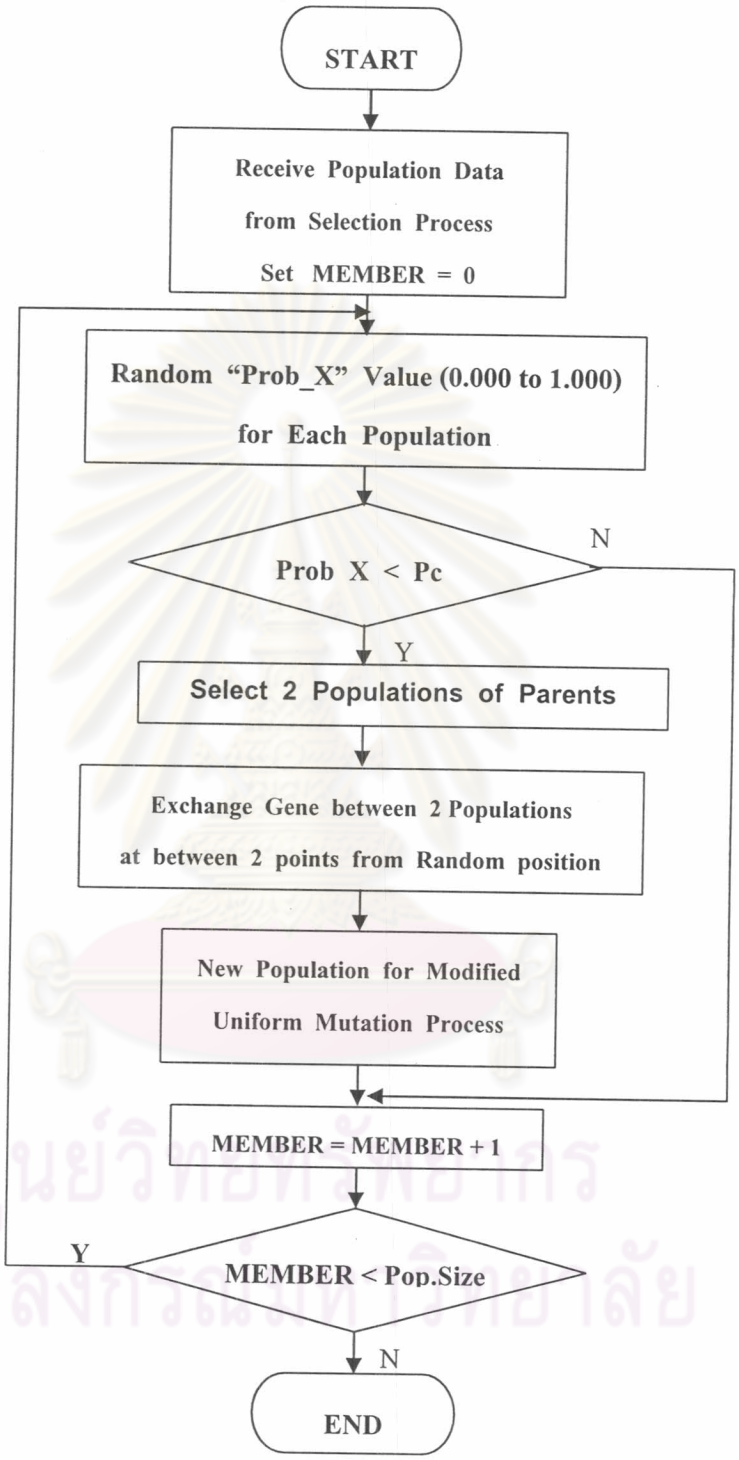
** กระบวนการ Selection , Crossover , Mutation นำมาจากการอบรม GA โดย ผศ.ดร.กัมปนาท ภักดีกุล

รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการทำงานของ GAs



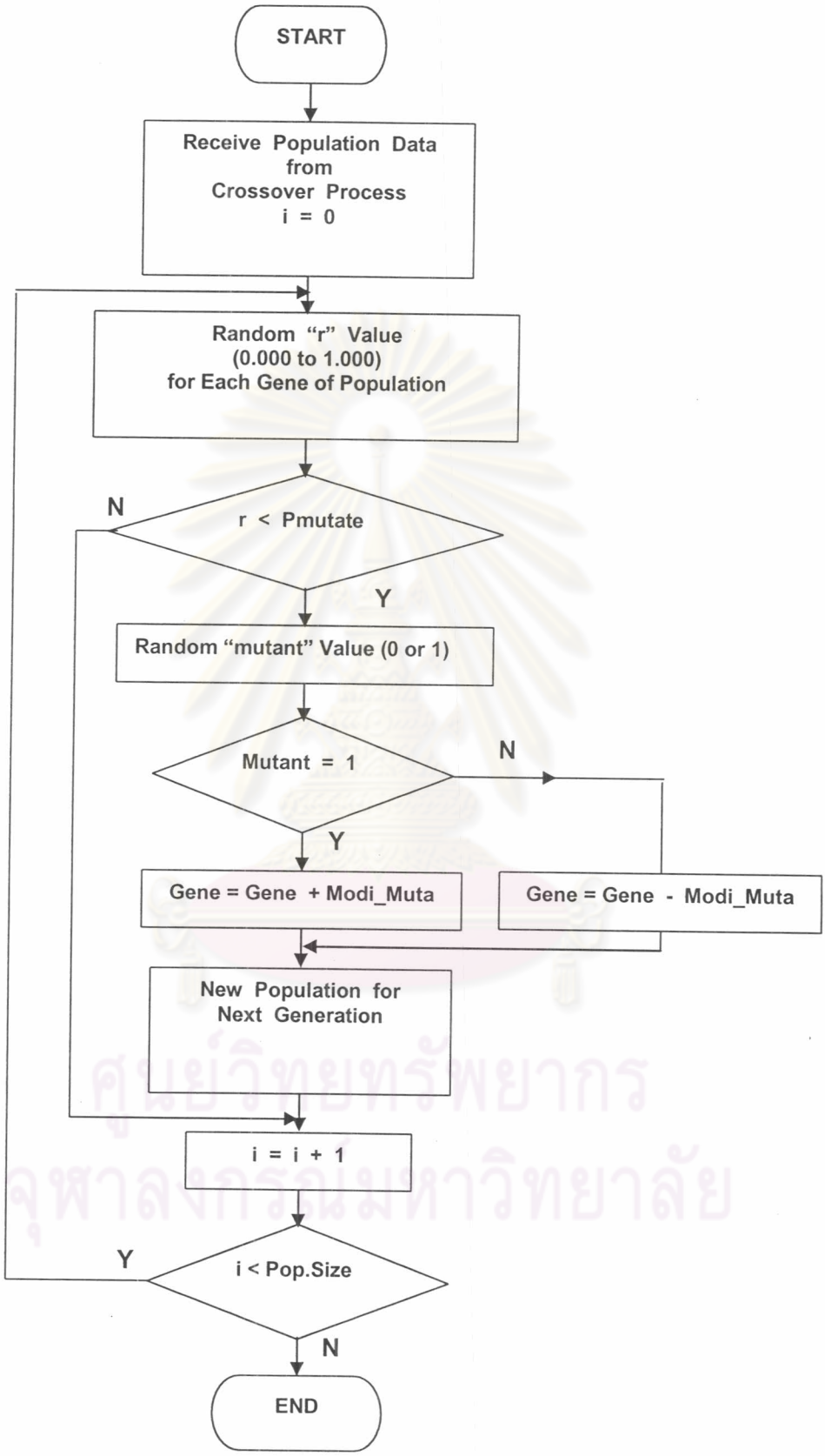
รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย Selection

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย Crossover

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย Mutation

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
#define NREACH    12
#define NNODE     12
#define YEAR      13
#define Modi_muta  0.3
```

initial เป็นการหาค่าเริ่มต้นของประชากรจากการ Randomด้วยคำสั่งต่อไปนี้

```
float RandReal (float lower,float upper)
        {
                float val;
                float nb = ( upper - lower );
                val =  (float)(rand()%1000/1000.0*nb + lower);
                return ((float)val);
        }


int RandInt (int lower,int upper)
        {
                int val;
                int nb = (upper - lower );
                val =  (rand()%nb + lower);
                return val;
        }
```

Subroutine เป็นโปรแกรมย่อย ส่วนที่อยู่หลัง void ในตอนต้นของโปรแกรม เป็นการกำหนดว่ามีการเรียกใช้ฟังก์ชั่น subroutine ใดบ้างในโปรแกรมที่เราเรียกใช้ และมีชื่ออะไรบ้าง

void initial() มีไว้เพื่อสุ่มหาประชากรเริ่มต้น

void Read_inputfiles(); มีไว้เพื่ออ่านแฟ้มข้อมูลนำเข้าทั้งหมด

void SwapIntValues(int *, int *); มีไว้เพื่อสลับตำแหน่งเลขจำนวนเต็ม

void SwapRealValues(float *, float *) มีไว้เพื่อสลับตำแหน่งเลขจำนวนจริง

void Tournament(); มีไว้เพื่อทำขั้นตอน Selection แบบ Tournament

void SelectMate(); มีไว้เพื่อทำขั้นตอน crossover แบบ 2-point

void mutatepop(int); มีไว้เพื่อทำขั้นตอน Mutation แบบ modified uniform

Variable เป็นการประกาศตัวแปรเพื่อรับค่า ว่าเป็นประเภทใด เช่นจำนวนจริง(floating) จำนวนเต็ม (integer) เป็น array 1 มิติ, 2 มิติ หรือ 3 มิติ เป็นต้น

```
float   Qinf[YEAR][NNODE],d[YEAR][NNODE],y2[NNODE];
float   area[NNODE],volume[NNODE],evap[NNODE] ;
```

```
float   L[NNODE],E[NNODE] , upper[NREACH], lower[NREACH] ;
float   ftnss[POPSIZE+1],Q[NREACH][POPSIZE+1];
float   mated_pop[POPSIZE][LENGTH], DELTA_ftnss,OLD_minftnss;
float   bestfit, sumx,sumd;
int     pofi,ii;
```

Pointer เป็นการกำหนด pointer ไปที่ File

```
FILE  *f1,*f2,*f3,*f4,*f5;
```

MAIN PROGRAM คือส่วนหลักของโปรแกรมที่ บรรจุส่วนของโปรแกรมย่อยต่างๆ (Subroutine) โปรแกรมจับเวลาคำนวณ รวมทั้งค่าตั้งต้นของตัวแปรหลัก และค่าถ่วงน้ำหนัก

Objective เป็นโปรแกรมย่อยเพื่อหาค่าความเหมาะสมตาม ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

หลักการทำงานของโปรแกรม

1. อ่านข้อมูลเพื่อรับค่าจากไฟล์ที่กำหนด โดยรับข้อมูล น้ำท่า และความต้องการน้ำ รายเดือนเป็นเวลา 33 ปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2513-2545 รับข้อมูลอัตราการระเหยเฉลี่ยแต่ละเดือน รับข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ของค่าระดับน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ-ความจุอ่างเก็บน้ำ รับข้อมูลปริมาตรต่ำสุด-สูงสุดของระดับเก็บกักของอ่างฯ

2.สุ่มหาค่าปริมาณการเก็บกักควบคุมแต่ละเดือนทั้ง12 เดือน (สมมุติมี120 Population size หรือ 120 Rule Curve ก็จะมีการสุ่มหาปริมาณน้ำรายเดือน 1440 ค่า)

3. หาค่า Fitness Value (Min Z)

3.1 หาค่าการระเหย(Et) จากการโปรแกรมย่อย Interpolate คือ นำปริมาณการเก็บกักในเดือนที่ t–1 ไปหาพื้นที่ผิว แล้วคูณด้วยอัตราการระเหย

3.2 หาค่าการรั่วซึม(Lt) จากอัตราการรั่วซึม เท่ากับ 10 % ของ ปริมาณความจุทั้งปี แล้วคำนวณเป็นรายเดือน

$$\text{Loss} = \frac{S_{t-1} + S_t}{2} \times 0.1 \times \frac{1}{12}$$

3.3 หาค่าการปล่อยน้ำรายเดือน

$$X_t = S_{t-1} + I_t - S_t - E_t - L_t$$

3.4 ตรวจสอบข้อจำกัด

ด้านการรักษาสภาพท้ายน้ำ

ถ้า Xt > 26 ให้ P1 = 0

ถ้า Xt < 26 ให้ $P1 = \sum_{t=1}^{n}(26 - X_t)^2$

ด้านการระบายน้ำ

ถ้า Xt < 1555.2 ให้ P2 = 0

ถ้า Xt > 1555.2 ให้ $P2 = \sum_{t=1}^{n}(X_t - 1555.2)^2$

3.5 หาค่า Fitness Value

$$Z_i = \sum_{t=1}^{n}\frac{(D_t - X_t)^2}{D_t} + R1\ P1 + R2\ P2$$

ทำซ้ำตั้งแต่ 31-3.5 ซ้ำ จนครบจำนวน Population Size (สมมุติ ใช้ 120 Popsize หรือ i = 120 ก็จะได้ Zi 120 ค่า) นำค่าต่างๆที่คำนวณได้ทั้งหมดไปใช้ในกระบวนการ GAs ถัดไปและนำค่า Zi ที่น้อยที่สุดไปใช้ เปรียบเทียบกับ Zi ที่น้อยที่สุดในรุ่นถัดไปด้วย ส่วนการหาค่า R1, R2 ได้จากการTrial & error ที่ทำให้ได้ค่า Zi ที่มีค่าน้อยที่สุด

4. การหาค่าปริมาณการเก็บกักควบคุมรายเดือนที่มีความเหมาะสมมากขึ้นในรุ่นถัดไปในขั้นตอนของ GAs ด้วยการพยายามให้ค่า Z_i น้อยที่สุดนั่นคือ ทำให้ผลต่างระหว่างความต้องการน้ำกับการปล่อยน้ำน้อยที่สุด และพยายามให้ P1 และ P2 = 0 คือ ไม่ให้ปล่อยน้ำน้อยกว่าค่าการปล่อยน้ำต่ำสุดเพื่อรักษาระบบนิเวศ และไม่ให้เกินกว่าความสามารถในการระบายน้ำ โดยมีกระบวนการของ GAs 3 ขั้น ดังนี้

4.1 Selection

ขั้นตอน Selection นี้เลือกใช้แบบ Tournament Selection เป็นการคัดเลือกโครโมโซมหรือ rule curve ที่ดีกว่าไปใช้ใน ขั้นตอน Crossover โดยเลือกโครโมโซมมาเปรียบเทียบกันจากการสุ่ม(random) หรือสุ่มจับคู่ระหว่าง rule curve แบบหนึ่งกับ rule curve อีกแบบหนึ่งมาเปรียบเทียบกัน กลุ่มใดให้ค่า Z ที่น้อยกว่า ก็คัดลอก(Copy) โครโมโซมนั้นไปใช้ในกระบวนการ Crossover ต่อไป ทำการสุ่มจับคู่กลุ่มประชากรเปรียบเทียบกันและคัดลอกโครโมโซมอีก ซ้ำไป

เรื่อยๆ จนกระทั่งได้โครโมโซมใหม่ครบ 120 ตัว (อาจมีโอกาสการเกิด การคัดลอกโครโมโซมที่ดี ซ้ำอีกได้หลายๆครั้งตามแต่ที่จะมีโอกาสโดนสุ่มเลือก ซึ่งทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของ Z ดีกว่าสมาชิกกลุ่มเดิม) ดังรูปที่ 5.3 แสดงแผนผังการทำงานของ โปรแกรมย่อย Selection

4.2 Crossover

เป็นการแลกเปลี่ยน Gene หรือแลกเปลี่ยนระหว่างปริมาณเก็บกักควบคุมแต่ละเดือนของอ่างฯ จาก rule curve แบบหนึ่งกับ rule curve อีกแบบหนึ่ง โดยรับโครโมโซมทั้ง 120 ตัว มาจากกระบวนการ Selection ซึ่งเลือกใช้การแลกเปลี่ยน Geneแบบ 2-Point Crossover ซึ่งวิธีการคือ จะมีการrandom ค่าหนึ่งออกมาก่อนเพื่อพิจารณาว่าโครโมโซมนี้ควรจะมีการแลกเปลี่ยนGeneกับโครโมโซมอื่นหรือไม่ โดยโครโมโซมทั้ง 120 ตัวนี้จะมีโอกาสการจับคู่แลกเปลี่ยน Gene ซึ่งกันและกัน ไม่เกินกว่า Probability of Crossover (Pc) โดยสมมุติให้ใช้ Pc เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ ก็เท่ากับว่ามีโอกาสการจับคู่เพื่อแลกเปลี่ยน Gene ระหว่างกัน 114 ตัว หรือ 57 คู่ ส่วนโครโมโซมที่เหลืออีก 6 ตัวจะยังคงสภาพเดิมต่อไป โดยที่โครโมโซมทั้งหมดจะส่งไปใช้ในกระบวนการ Mutation ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 5.4 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมย่อย Crossover

4.3 Mutation

เป็นขั้นตอนการดัดแปลง Gene บางตัวในโครโมโซมให้มีค่าที่ดีขึ้น คือทำให้ได้ค่า Z ที่น้อยลง หรือดัดแปลงปริมาณเก็บกักควบคุมเป็นบางเดือน ให้ได้ค่าการขาดน้ำหรือ การปล่อยน้ำเกินความต้องการต่ำสุด โดยกระบวนการดัดแปลง Gene ที่ได้รับข้อมูลโครโมโซมจากกระบวนการ Crossoverนั้นมีวิธีการ ดังนี้คือ จะมีการ randomหาโอกาสการดัดแปลงGene (r) แต่ละตัว มาใช้กับ Gene ทุกๆตัว เพื่อเปรียบเทียบกับ Probability of Mutation (Pm) สมมุติใช้ Pm เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ ถ้าค่าที่ random ออกมามีค่ามากกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ ก็จะไม่มีการดัดแปลง Gene แต่ถ้าค่าที่สุ่มออกมาได้มีค่าน้อยกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ จะมีการดัดแปลงค่าของ Gene นั้น (ปริมาณน้ำควบคุมในอ่างของเดือนนั้น) โดยจะดัดแปลงค่าแบบเพิ่มหรือลด ขึ้นอยู่กับการสุ่มซึ่งมีโอกาสการเกิดทั้งสองแบบเท่ากัน การเพิ่มค่าหรือลดค่าของ Gene จะเท่ากับ ค่าModified Mutation สมมุติเท่ากับ 0.3 ก็จะเพิ่มหรือลดจาก Gene นั้นอีกเท่ากับ 0.3 ล้าน ลบ.ม. ค่าที่เพิ่มขึ้นมาจะมีค่ารวมแล้วไม่เกินความจุสูงสุดของอ่างนั่นคือไม่เกิน 960 ล้าน ลบ.ม. ส่วนการลดก็จะมีค่าสุทธิไม่น้อยกว่าความจุต่ำสุดของอ่างฯนั่นคือไม่น้อยกว่า 200 ล้าน ลบ.ม. ขั้นตอนนี้จะทำซ้ำ

กันอีก 1440 ครั้ง จากการที่มีจำนวน Gene ทั้งสิ้น 1440 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.5 แผนผังการทำงานของ โปรแกรมย่อย Mutation

เมื่อผ่านกระบวนการของ GAs ซึ่งเป็นการเลียนแบบธรรมชาติทั้ง 3 ขั้นตอนแล้วก็จะได้ โครโมโซมใหม่ 120 ตัว ที่พร้อมจะนำไปหาค่าความเหมาะสมได้ในรุ่นถัดไป โดยเริ่มทำซ้ำอีกครั้งตั้งแต่ข้อ 3 และขั้นตอนของ GAs (ข้อ 4.1 - 4.3) ในรุ่นถัดๆไป และจะหยุดทำซ้ำเมื่อ ความแตกต่างระหว่าง ค่า Z_i ในรุ่นก่อน กับรุ่นล่าสุด ต่อค่า Z_i ในรุ่นล่าสุด มีค่าน้อยกว่า 0.00001 หรือไม่เกิดความเปลี่ยนแปลงของ ค่า Z_i เป็นจำนวนกว่า 300 รุ่น จึงจะยอมรับค่า Z_i ที่ได้นั้นมีความเหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 5.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของ GAs ซึ่งปริมาณเก็บกักควบคุมรายเดือนที่คำนวณจากโปรแกรมนี้ทำให้เกิดภาวะการขาดแคลนน้ำ และการปล่อยน้ำเกินความต้องการ น้อยที่สุด

5.1.3 การทดสอบโปรแกรม GAs

การทดสอบโปรแกรม GAs ด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แสดงในสมการที่ 5.1 พบว่า ในแต่ละ Generation มีการปล่อยน้ำน้อยกว่า 26 ล้าน ลบ.ม.ประมาณ 2-3 เดือน ซึ่งน้อยกว่าปริมาณที่ต้องการรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ ดังรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่า ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เดิมในสมการที่ 5.1 ไม่สามารถคำนวณหาค่าความเหมาะสมของปัญหานี้ได้ เพียงลำพัง

ดังนั้นหลังจากมีการแก้ไขฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เพื่อให้อัตราการปล่อยน้ำมีปริมาณอย่างน้อย 10 ลบ.ม. ต่อวินาที และ การระบายน้ำไม่เกิน 600 ลบ.ม.ต่อวินาที ในรูปของสมการข้อจำกัดให้กับสมการที่ 5.1 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ 5.4 พบว่าการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำมีค่ามากกว่า 10 ลบ.ม. ต่อวินาที หรือมากกว่า 26 ล้าน ลบ.ม ทุกเดือน ดังแสดงในรูปที่ 5.7 จะเห็นว่า ในช่วง 500 generation แรก มีการปล่อยน้ำน้อยกว่า 26 ล้าน ลบ.ม. อยู่หลายเดือนและค่อย ๆ ลดลงจนเป็น 0 ใน generation สูงๆขึ้นไป แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม สมการข้อจำกัด(5.2 และ 5.3) มีความจำเป็นในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์นี้

Weight Factor R1 และ R2

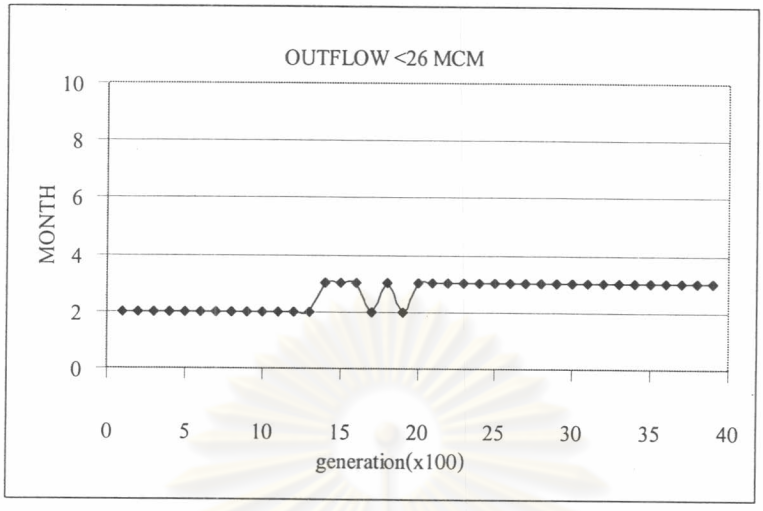
หาค่าที่เหมาะสมของ Weight Factor ของ R1 ได้จากการทดลองทำซ้ำเริ่มจากสเกลหยาบก่อนในช่วง 1,000 – 8,000 โดยเพิ่มค่า R1 ครั้งละ 1,000 แล้วพิจารณาปริมาณการขาดน้ำเฉลี่ย โดยกำหนดให้ใช้ค่าเริ่มต้นดังนี้ ค่า จำนวน generation สูงสุดเท่ากับ 4000,

Population Size เท่ากับ 100 ค่าProbability of Crossover(Pc) เท่ากับ 0.95 ค่า Probability of Mutation (Pm) เท่ากับ 0.0625 และจำนวนที่ใช้ในการ Modified Uniform Mutation เท่ากับ 0.25 R2 เท่ากับ 200 และใช้ชุดข้อมูลในช่วงปีน้ำปกติ ซึ่งมีข้อมูลนำเข้า 13 ปี ในการคำนวณ ซึ่งค่าที่เหมาะสมน่าจะอยู่ในช่วง 4,000 – 6,000 ดังรูปที่ 5.8 แสดงการทดลองหาค่า Weight Factor (R1) ในช่วง 1,000 – 8,000

จากการทดลองทำซ้ำอีกครั้ง โดยเพิ่ม R1 ครั้งละ 200 ได้ผลการคำนวณของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 5.9 พบว่า R1 ที่เหมาะสมมีค่า เท่ากับ 4,400 ซึ่งให้ผลการคำนวณของการขาดน้ำเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 136 ล้าน ลบ.

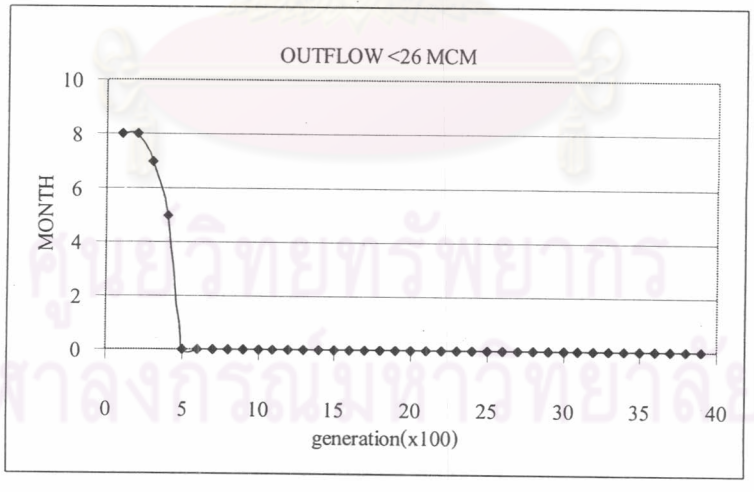
จากการทดลองซ้ำหาค่า R2 จะอยู่ในช่วง 50 – 500 โดยพิจารณาค่าเบื้องต้นให้ R1 เท่ากับ 4,400 ส่วนข้อมูลเบื้องต้นอื่นๆใช้เช่นเดียวกับการหาค่า R1 พบว่า R2 ที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 250 ซึ่งให้ผลการคำนวณของการขาดน้ำเฉลี่ยที่น้อยที่สุดเท่ากับ 135 ล้าน ลบ. ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



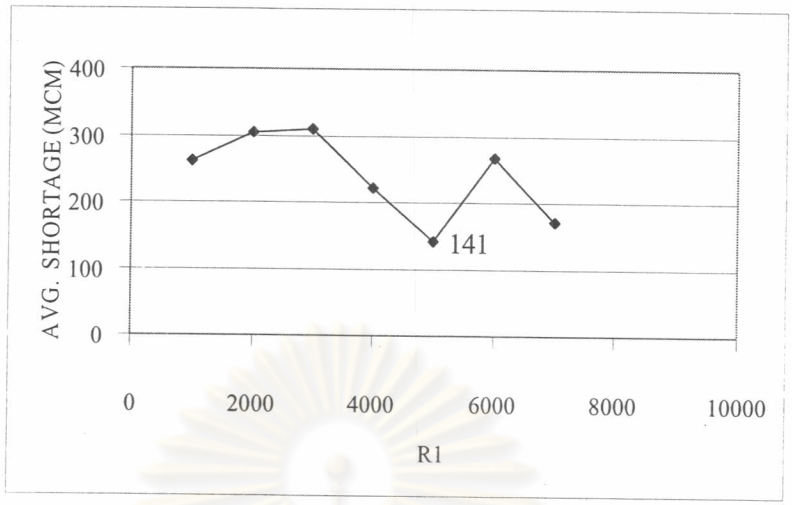
รูปที่ 5.6 จำนวนเดือนที่มีค่าการปล่อยน้ำออกจากอ่าง ฯ น้อยกว่าระบบนิเวศเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เดิม

หมายเหตุ พิจารณาที่ Maximum Generation = 4000, Population Size = 100, Pc = 0.95, Pm =0.0625, Modified Uniform Mutation = 0.25 และใช้ชุดข้อมูลช่วง ปีน้ำปกติ



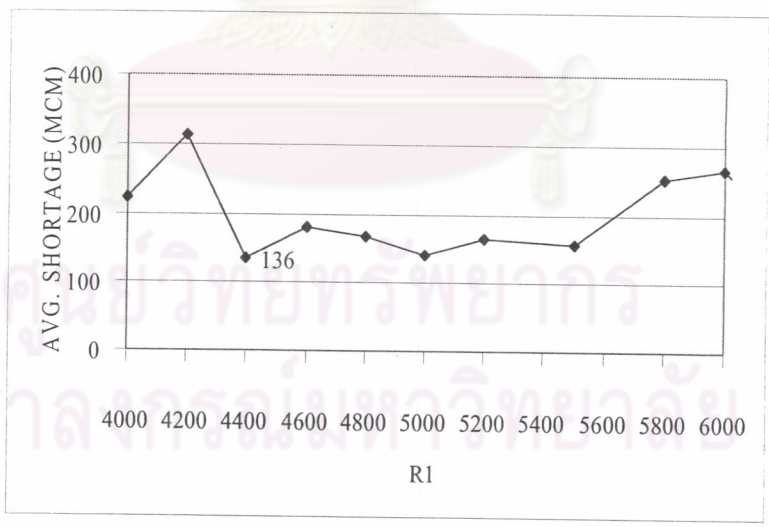
รูปที่ 5.7 จำนวนเดือนที่มีค่าการปล่อยน้ำออกจากอ่าง ฯ น้อยกว่าระบบนิเวศ เมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ที่มี การปรับแก้ด้วยตัวคูณถ่วงน้ำหนัก

หมายเหตุ พิจารณาที่ Maximum Generation = 4000, Population Size = 100, Pc = 0.95, Pm =0.0625, Modified Uniform Mutation = 0.25, R1 = 4,000 และ R2 = 200 และใช้ชุดข้อมูลช่วง ปีน้ำปกติ



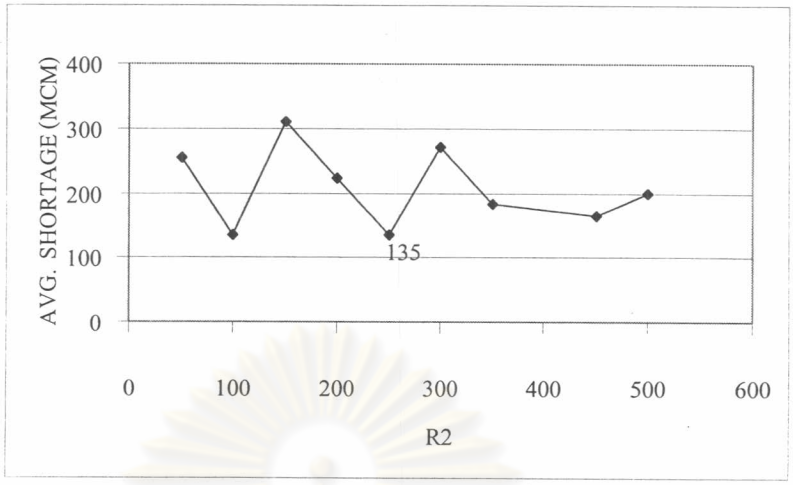
รูปที่ 5.8 ผลการหาค่า Weight Factor(R1)ที่เหมาะสมในช่วง1,000–8,000 โดยเพิ่มครั้งละ1,000

หมายเหตุ พิจารณาที่ Maximum Generation = 4000, Population Size = 100, Pc = 0.95, Pm =0.0625, Modified Uniform Mutation = 0.25, R2 = 200 และใช้ชุดข้อมูลช่วง ปีน้ำปกติ



รูปที่ 5.9 ผลการหาค่า Weight Factor(R1)ที่เหมาะสมในช่วง4,000–6,000 โดยเพิ่มครั้งละ 200

หมายเหตุ พิจารณาที่ Maximum Generation = 4000, Population Size = 100, Pc = 0.95, Pm =0.0625, Modified Uniform Mutation = 0.25, R2 = 200 และใช้ชุดข้อมูลช่วง ปีน้ำปกติ



รูปที่ 5.10 ผลการหาค่า Weight Factor(R2)ที่เหมาะสมในช่วง 50-500 โดยเพิ่มครั้งละ 50

<u>หมายเหตุ</u> พิจารณาที่ Maximum Generation = 4000, Population Size = 100, Pc = 0.95, Pm =0.0625, Modified Uniform Mutation = 0.25, R1 = 4400 และใช้ชุดข้อมูลช่วง ปีน้ำปกติ

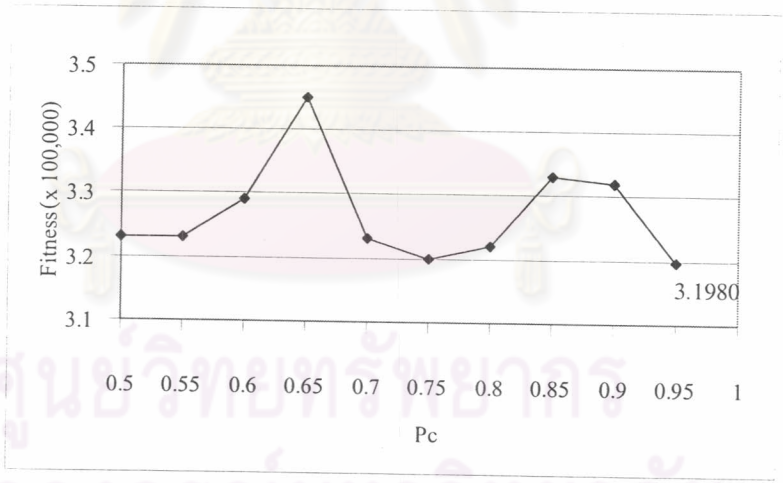
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Probability of Crossover

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Probability of Crossover (Pc) ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาแนะนำให้ใช้ค่า Pc อยู่ในช่วง 0.50-0.95 โดยกำหนดให้พิจารณาค่า Fitness Value ที่4000 Generation , Population เท่ากับ 100 ค่า Probability of Mutation (Pm) แนะนำให้ใช้ค่าเบื้องต้นประมาณ 0.75 ต่อความยาวโครโมโซม เท่ากับ 0.0625 และจำนวนที่ใช้ในการ Modified Uniform Mutation เท่ากับ 0.25 และใช้ชุดข้อมูลในช่วงปีน้ำปกติ ซึ่งมีข้อมูลนำเข้า 13 ปี ในการคำนวณ

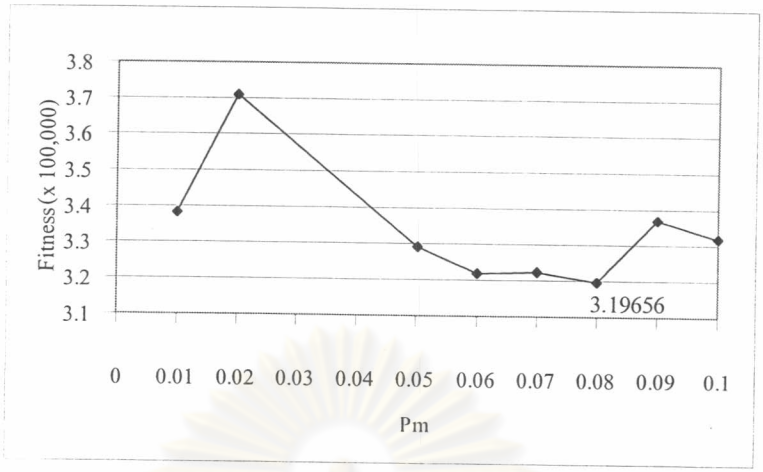
จากผลการคำนวณของโปรแกรมดังรูปที่ 5.11 พบว่ามีค่า Probability of Crossover ที่มีแนวโน้มให้ค่า Fitness Value ที่มีค่าน้อยกว่าค่าอื่น ๆ 2 ช่วง คือ 0.7-0.8 และ 0.95 สำหรับการศึกษานี้เลือกใช้ค่า Probability of Crossover เท่ากับ 0.95 ซึ่งให้ผลการคำนวณของโปรแกรม Fitness Value ที่น้อยที่สุด เท่ากับ 319,800



รูปที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Probability of Crossover

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Probability of Mutation

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ กำหนดให้พิจารณาค่า Fitness Value ที่ 4000 Generation , Population size เท่ากับ 100 , Probability of Crossover(Pc) เท่ากับ 0.95 เลขจำนวนที่ใช้ในการเกิด Modified Uniform Mutation เท่ากับ 0.25 และใช้ชุดข้อมูลในช่วงปีน้ำปกติ ซึ่งมีข้อมูลนำเข้าในการคำนวณ จำนวน 13 ปี

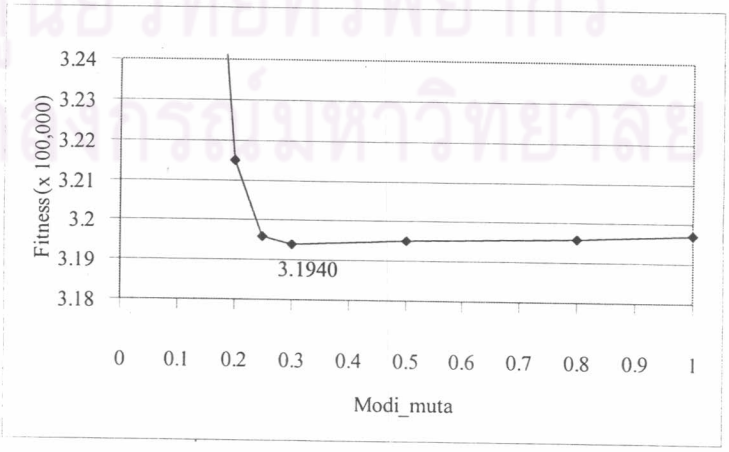


รูปที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Probability of Mutation

จากผลการคำนวณของโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 5.12 พบว่า Probability of Mutation ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 0.06-0.08 สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้ค่า Probability of Mutation เท่ากับ 0.08 ซึ่งให้ผลการคำนวณค่า Fitness Value น้อยที่สุด คือ 3.19656

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของเลขจำนวนที่ใช้ในการเกิด Modified Uniform Mutation

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Modified Uniform Mutation กำหนดให้พิจารณาค่า Fitness Value ที่ 4000 Generation, Population size เท่ากับ 100 , Probability of Crossover เท่ากับ 0.95 , Probability of Mutation เท่ากับ 0.08 และใช้ชุดข้อมูล ในช่วงปีน้ำปกติ เป็นข้อมูลนำเข้าในการคำนวณ

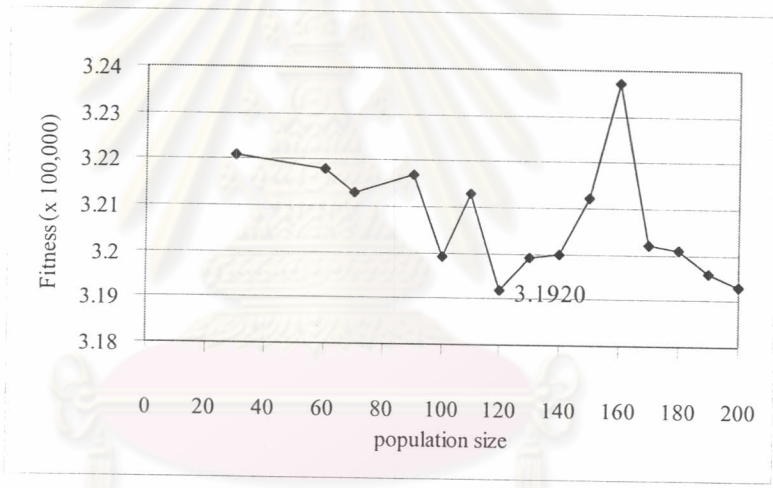


รูปที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Inchmeal

จากผลการคำนวณของโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 5.13 พบว่า ค่าเลขที่ใช้ในการเกิด Modified Uniform Mutation ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ในช่วง 0.25-1.00 สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้ค่า Modified Uniform Mutation เท่ากับ 0.3 ซึ่งในผลการคำนวณค่า Fitness Value น้อยที่สุด คือ 319,400

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว Population Size

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว Population size กำหนดให้พิจารณาค่า Fitness Value ที่ 4000 Generation , Probability of Crossover เท่ากับ 0.95 , Probability of Mutation เท่ากับ 0.08 , Modified Uniform Mutation เท่ากับ 0.3 และใช้ชุดข้อมูลนำเข้าในช่วงปีน้ำปกติในการคำนวณ



รูปที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Population Size

จากผลการคำนวณของโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 5.14 พบว่า Population Size ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 120 ซึ่งให้ผลการคำนวณมีค่า Fitness Value น้อยที่สุด และขนาดของ Population Size แปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการคำนวณ รวมถึงข้อจำกัดของโปรแกรม ถ้า length ของโครโมโซม คูณด้วย จำนวนปี มีค่าสูงแล้ว Population Size จะมีค่าไม่มากนัก กรณีนี้ จะมีค่าได้ไม่เกิน 200 Population

ดังนั้น ในการคำนวณของโปรแกรม จึงได้กำหนดให้ Population Size เท่ากับ 120 ค่า Probability of Crossover (Pc) เท่ากับ 0.95, ค่า Probability of Mutation (Pm) เท่ากับ 0.08 และเลขจำนวนที่ใช้ในการเกิด Modified Uniform Mutation เท่ากับ 0.3

จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่างๆของเกณฑ์ปฏิบัติการรวมและปฏิบัติการย่อยทั้ง 5 รูปแบบ สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในช่วงต่างๆดังนี้

ตารางที่ 5.1 ช่วงพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโปรแกรมGA

Items	Results
Population size	120,140,180,190
Probability of crossover (Pc)	0.85 - 0.95
Probability of mutation (Pm)	0.06 - 0.08
Number of mutation per chromosome	0.2 - 0.4

5.2 การหาเกณฑ์ปฏิบัติการรวมของปริมาณน้ำควบคุมอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณของโปรแกรม ด้วยข้อมูลทางอุทกวิทยาซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลน้ำท่า 33 ปี จากปี พ.ศ. 2513 –2545 ข้อมูลโค้งระดับน้ำ-ความจุ-พื้นที่ผิวอ่าง ข้อมูลอัตราการระเหยสุทธิ ระดับเก็บกักต่ำสุดและสูงสุด และความต้องการน้ำของโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ รวมถึงการใช้เกณฑ์ตัวเลือกที่กำหนดจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวดังตารางที่ 5.1 สามารถหาเกณฑ์ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนได้ดังรูปที่ 5.5

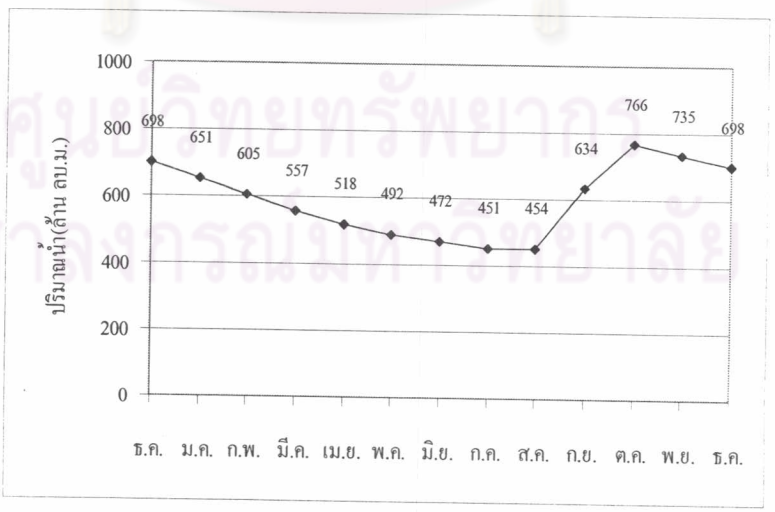
เนื่องจากค่าระดับเก็บกักแปรผกผันกับการระบายน้ำ ถ้ามีการเก็บกักมากการระบายน้ำก็จะน้อย ถ้ามีการเก็บกักน้อยการระบายน้ำก็จะมาก เพื่อให้การระบายน้ำไม่มากเกินไปในปีน้ำมาก และมีค่าไม่น้อยเกินไปในปีน้ำน้อย ทั้ง 33 ปี ระดับเก็บกักที่เหมาะสมที่พัฒนาขึ้นด้วย GA จึงมีลักษณะดังรูปที่ 5.15 พบว่าปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนตลอดทั้งปีมีค่าค่อนข้างสูง คือไม่ต่ำกว่า 451 ล้าน ลบ.ม. เพื่อให้เพียงพอกับการปล่อยน้ำไปรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำทุกๆเดือนของฤดูแล้งตลอด 33 ปีที่ทำการศึกษา และปริมาณน้ำควบคุมก็มีค่าไม่สูงไปถึงระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างฯ โดยมีค่าปริมาณควบคุมสูงสุด เท่ากับ 797 ล้าน ลบ.ม.

ผลการคำนวณการระบายน้ำ การขาดน้ำและการระบายน้ำเกินความต้องการรายเดือน ตลอด 33 ปี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 , 5.3 และ 5.4 พบว่ามีการขาดน้ำรวม33 ปี เท่ากับ 10,546 ล้าน ลบ.ม. มีการปล่อยน้ำเกินความต้องการรวบ 33 ปี เท่ากับ 53,613 ล้าน ลบ.ม. และ

พบว่าการระบายน้ำตามเกณฑ์ปฏิบัติการรวมดังรูปที่ 5.15 นั้นมีอยู่ 3 เดือนจาก 33 ปี มีปัญหาการระบายน้ำต่ำกว่า ความต้องการน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ และผลรวมการขาดน้ำยังมีค่าสูงมาก จึงต้องมีการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการควบคุมปริมาณน้ำให้เหมาะสม กับปริมาณน้ำท่าแต่ละปีที่มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยจะคำนวณหาในบทที่ 5.3 ถัดไป

ตารางที่ 5.2 เกณฑ์ที่นำมาใช้จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโปรแกรมGA

Items	Results
Population size	120
Execution time (sec.)	44.61
Number of genes	12
Length of chromosome	12
Probability of crossover	0.95
Probability of mutation	0.08
Number of mutation per chromosome	0.3
Type of selection	Tournament
Type of crossover	2-point
Type of mutation	Modified uniform



รูปที่5.15 ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ จากเกณฑ์ปฏิบัติการรวม

ตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำรายเดือนจากอ่างด้วยเกณฑ์ปฏิบัติการรวม หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ปี (พ.ศ.)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2513	51.5	49.4	52.8	54.6	43.4	64.5	164.2	257.3	509.8	262.4	96.4	51.2
2514	45.7	51.6	58.4	50.5	49.7	34.8	48.4	153.0	234.3	162.6	36.5	30.8
2515	58.8	51.6	54.4	59.2	45.4	31.3	38.2	25.9	344.9	428.1	166.1	56.3
2516	31.8	29.9	33.5	40.8	41.0	26.1	37.1	37.2	159.9	322.0	34.2	27.8
2517	43.7	35.9	39.4	39.2	66.8	31.0	26.0	42.6	17.5	378.8	231.3	63.7
2518	52.6	42.1	42.3	34.6	35.9	76.7	208.4	198.7	802.5	1061.3	140.4	71.7
2519	60.0	42.8	41.8	40.0	62.4	54.7	79.1	233.6	536.7	853.1	382.9	87.4
2520	41.9	34.9	34.0	43.0	66.7	46.3	30.2	43.5	423.4	271.0	43.6	37.8
2521	63.8	48.4	48.8	40.6	52.3	56.4	411.4	734.3	709.9	2297.2	107.6	80.4
2522	36.4	32.7	33.1	38.5	82.1	86.5	102.0	88.0	11.6	133.8	35.2	32.3
2523	50.5	37.9	44.8	37.2	32.9	89.1	214.3	262.9	453.5	1077.2	133.3	64.2
2524	52.5	39.3	37.4	46.2	61.7	53.7	225.6	626.8	364.0	239.8	169.4	76.8
2525	61.4	45.9	43.1	47.1	58.2	73.8	42.0	33.0	878.2	955.4	205.5	93.6
2526	83.9	59.2	55.7	37.7	35.1	44.6	52.5	170.8	230.2	1120.3	311.8	113.2
2527	63.2	49.4	52.9	54.5	53.2	107.7	178.9	138.3	424.3	929.1	223.7	92.0
2528	68.7	52.5	48.9	51.9	73.0	83.5	175.7	329.7	791.7	853.2	438.3	116.2
2529	48.6	41.5	42.3	50.5	89.2	92.8	58.5	219.4	127.4	12.2	62.3	53.2
2530	57.3	47.8	40.6	32.7	33.5	52.2	50.5	32.9	1076.8	936.9	167.4	84.6
2531	49.3	38.3	36.6	37.0	224.1	230.1	85.5	139.5	37.2	280.2	290.3	71.5
2532	37.7	30.7	34.5	35.9	32.2	248.6	97.4	133.3	22.0	178.8	153.6	49.5
2533	38.7	32.3	32.0	27.8	35.1	236.6	158.3	177.3	93.4	714.1	210.7	60.2
2534	63.7	42.7	37.0	34.2	35.3	90.9	64.2	286.6	993.9	700.9	63.5	48.4
2535	39.1	33.6	33.3	31.9	26.1	50.8	40.8	279.8	23.7	284.4	67.6	47.5
2536	33.7	33.5	38.8	34.5	33.6	39.8	33.2	47.8	81.8	21.6	26.0	26.3
2537	36.0	33.0	32.4	32.6	56.1	139.1	269.6	294.4	845.8	459.5	44.3	49.6
2538	39.6	34.7	36.1	31.4	39.7	39.5	123.8	838.9	1499.1	627.3	137.2	54.9
2539	46.1	38.4	35.6	38.4	159.2	131.6	136.5	90.1	332.1	1178.0	432.5	87.3
2540	40.6	37.0	31.4	42.8	36.9	27.8	59.4	161.6	244.1	585.1	131.1	55.2
2541	37.8	37.1	38.1	36.5	34.9	79.4	144.3	141.7	204.1	251.3	80.1	26.1
2542	26.7	27.1	32.0	50.9	249.3	164.7	70.6	140.5	458.5	807.3	342.4	46.6
2543	26.2	26.2	26.7	72.3	310.9	340.7	619.6	776.2	1539.0	667.3	148.4	48.5
2544	51.6	56.8	48.5	40.4	118.8	118.4	131.5	465.5	258.2	193.3	148.0	59.8
2545	74.9	63.2	84.4	58.6	86.4	132.1	70.5	155.8	2055.5	574.4	197.1	39.2
ค่าเฉลี่ย	48.9	41.1	41.9	42.5	74.6	96.2	128.7	235.1	508.6	600.5	165.4	60.7
ค่าสูงสุด	83.9	63.2	84.4	72.3	310.9	340.7	619.6	838.9	2055.5	2297.2	438.3	116.2
ค่าต่ำสุด	26.2	26.2	26.7	27.8	26.1	26.1	26.0	25.9	11.6	12.2	26.0	26.1

ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณการขาดน้ำรายเดือนจากอ่างด้วยเกณฑ์ปฏิบัติการรวม หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ปี (พ.ศ.)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2513	23.7	29.0	78.5	134.8	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2514	29.6	27.4	72.6	138.4	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2515	16.5	27.4	75.7	128.7	23.5	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2516	43.3	48.7	98.2	149.1	27.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2517	30.1	42.7	91.3	148.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2518	22.7	35.7	87.1	155.0	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2519	15.2	35.9	89.1	150.2	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2520	33.2	41.8	98.0	145.3	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2521	11.0	29.4	84.6	148.6	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2522	38.9	45.0	99.7	150.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2523	24.7	39.7	87.4	152.0	35.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2524	22.8	39.8	94.6	142.1	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2525	13.8	33.2	90.4	141.4	10.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
2526	0.0	17.7	75.8	152.6	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2527	10.6	29.2	79.9	134.9	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2528	6.6	26.6	84.6	137.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2529	26.6	37.3	89.3	137.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.8	0.0	0.0
2530	17.9	29.9	91.8	156.7	34.8	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
2531	25.0	40.4	95.1	151.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2532	37.6	48.4	96.4	153.7	36.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2533	36.5	46.4	99.9	161.7	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2534	11.1	35.9	96.3	155.4	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2535	36.2	45.5	98.3	158.5	42.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2536	41.5	45.6	91.0	153.9	34.6	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	0.0	0.0
2537	39.1	46.1	99.7	156.5	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2538	35.7	43.2	96.6	157.3	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2539	29.1	40.3	96.0	149.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2540	34.3	40.8	101.7	146.6	31.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2541	36.3	41.4	94.4	152.7	33.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2542	48.5	51.6	100.2	135.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2543	48.8	52.6	104.0	116.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2544	23.4	21.7	83.6	148.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2545	0.1	14.9	47.8	130.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ค่าเฉลี่ย	26.4	37.3	90.0	146.4	17.3	0.0	0.0	0.3	0.0	1.1	0.0	0.0
ค่าสูงสุด	48.8	52.6	104.0	161.7	42.6	0.0	0.0	8.0	0.0	21.8	0.0	0.0
ค่าต่ำสุด	0.0	14.9	47.8	116.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำเกินความต้องการจากอ่างด้วยเกณฑ์ปฏิบัติการรวม

ปี (พ.ศ.)	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2513	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.5	138.2	227.0	483.8	226.9	70.4	25.2
2514	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	22.4	123.2	208.3	125.5	10.5	4.8
2515	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	12.2	0.0	318.9	392.2	140.1	30.3
2516	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	11.1	6.7	133.9	284.9	8.2	1.8
2517	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	10.7	0.0	345.1	205.3	37.7
2518	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.7	182.4	166.7	776.5	1025.3	114.4	45.7
2519	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.7	53.1	205.2	510.7	818.9	356.9	61.4
2520	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.3	4.2	11.2	397.4	236.2	17.6	11.8
2521	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	385.4	700.6	683.9	2262.3	81.6	54.4
2522	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	60.5	76.0	51.3	0.0	96.2	9.2	6.3
2523	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.1	188.3	233.4	427.5	1043.5	107.3	38.2
2524	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	199.6	594.6	338.0	204.5	143.4	50.8
2525	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.8	16.0	0.0	852.2	920.4	179.5	67.6
2526	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	26.5	142.2	204.2	1087.0	285.8	87.2
2527	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.7	152.9	107.5	398.3	894.4	197.7	66.0
2528	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	57.5	149.7	296.9	765.7	818.5	412.3	90.2
2529	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9	66.8	32.5	189.1	101.4	0.0	36.3	27.2
2530	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.2	24.5	0.0	1050.8	901.1	141.4	58.6
2531	0.0	0.0	0.0	0.0	156.1	204.1	59.5	108.7	11.2	245.6	264.3	45.5
2532	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	222.6	71.4	101.9	0.0	143.0	127.6	23.5
2533	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	210.6	132.3	138.2	67.4	680.6	184.7	34.2
2534	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.9	38.2	255.2	967.9	664.5	37.5	22.4
2535	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8	14.8	247.7	0.0	249.5	41.6	21.5
2536	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.8	7.2	18.6	55.8	0.0	0.0	0.3
2537	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.1	243.6	264.5	819.8	422.5	18.3	23.6
2538	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	97.8	810.7	1473.1	593.3	111.2	28.9
2539	0.0	0.0	0.0	0.0	91.1	105.6	110.5	54.5	306.1	1143.5	406.5	61.3
2540	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	33.4	128.4	218.1	549.6	105.1	29.2
2541	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.4	118.3	111.9	178.1	214.8	54.1	0.1
2542	0.0	0.0	0.0	0.0	181.3	138.7	44.6	109.4	432.5	773.3	316.4	20.6
2543	0.0	0.0	0.0	0.0	242.8	314.7	593.6	743.9	1513.0	633.1	122.4	22.5
2544	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6	92.4	105.5	434.2	232.2	158.5	122.0	33.8
2545	0.0	0.0	0.0	0.0	18.3	106.1	44.5	124.4	2029.5	540.0	171.1	13.2
ค่าเฉลี่ย	0.3	0.0	0.0	0.0	23.6	70.2	102.7	203.6	483.5	566.5	139.4	34.7
ค่าสูงสุด	8.9	0.0	0.0	0.0	242.8	314.7	593.6	810.7	2029.5	2262.3	412.3	90.2
ค่าต่ำสุด	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

หน่วย ล้าน ลบ.ม.

5.3 การหาเกณฑ์ปฏิบัติการย่อยของปริมาณน้ำควบคุมอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณของโปรแกรม ด้วยข้อมูลทางอุทกวิทยาซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลน้ำท่า 33 ปี จากปี พ.ศ. 2513 –2545 โดยจัดเรียงเป็นกลุ่มตามขนาดของน้ำท่าเป็น 5 กลุ่ม ข้อมูลโค้งระดับน้ำ-ความจุ-พื้นที่ผิวอ่าง ข้อมูลอัตราการระเหยสุทธิ ระดับเก็บกักต่ำสุดและสูงสุด และความต้องการน้ำของโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ รวมถึงการใช้เกณฑ์ตัวเลือกที่กำหนดจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 เกณฑ์ที่นำมาใช้จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากโปรแกรมGA ของ ทั้ง 5ช่วง

Items	Results
Population size	120
Execution time 1.ปีน้ำน้อย(sec.)	16.72
Execution time 2.ปีน้ำค่อนข้างน้อย(sec.)	33.75
Execution time 3.ปีน้ำปกติ(sec.)	361.08
Execution time 4.ปีน้ำค่อนข้างมาก(sec.)	10.19
Execution time 5.ปีน้ำมาก(sec.)	51.24
Number of genes	12
Length of chromosome	12
Probability of crossover	0.95
Probability of mutation	0.08
Number of mutation per chromosome	0.3
Type of selection	Tournament
Type of crossover	2-point
Type of mutation	Modified uniform

พบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น สามารถคำนวณหาปริมาณการเก็บกักน้ำแต่ละเดือนของอ่างเก็บน้ำได้อย่างเหมาะสม สำหรับทุกกรณีเงื่อนไข ของปริมาณน้ำท่าทั้ง 5 ช่วง ได้แก่ ปีน้ำ

น้อย ปีน้ำค่อนข้างน้อย ปีน้ำปกติ ปีน้ำค่อนข้างมาก และปีน้ำมาก ดังแสดงผลการควบคุมน้ำรายเดือนของแต่ละช่วงในรูปที่ 5.16 , 5.18 , 5.20 , 5.22 และ 5.24

1. **ช่วงปีน้ำน้อย**

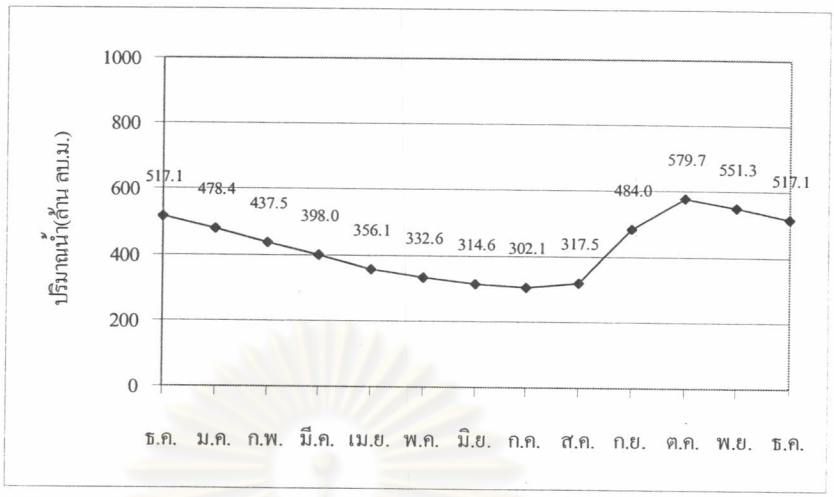
สามารถหาเกณฑ์ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนได้ดังรูปที่ 5.16 ค่าระดับการเก็บกักในแต่ละเดือนจะไม่มีความต่างกันมากนักเนื่อง จากปริมาณน้ำท่าทั้งปีมีน้อย ระดับน้ำในช่วงหน้าแล้งก็จะไม่ต่ำมากนัก เพื่อให้มีน้ำส่งให้กับความต้องการน้ำโดยเฉพาะด้านอุปโภคบริโภค ในขณะที่น้ำท่าในช่วงดังกล่าวมีค่าน้อยมาก จากการศึกษาของ rule curve นี้ได้พบว่าปริมาณการควบคุมตลอดทั้งปีมีค่าต่ำกว่าค่าระดับสูงสุดมาก โดยมีค่ามากที่สุดในเดือน ตุลาคมเท่ากับ 579.7 ล้าน ลบ.ม.

ผลการคำนวณการปล่อยน้ำในแต่ละเดือนของทุกปี ในช่วงปีน้ำน้อยได้แสดงดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.17 กราฟแสดงการปล่อยน้ำเฉลี่ย และความต้องการน้ำเฉลี่ย พบว่ามีการขาดน้ำเฉลี่ยในช่วงเดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม มีปริมาณการขาดน้ำรวมทั้ง 6 ปี เท่ากับ 2074 ล้าน ลบ.ม. ตามตารางที่ 5.11 และ การมีการปล่อยน้ำเกินความต้องการ ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม ถึง เดือนธันวาคม

2. **ช่วงปีน้ำค่อนข้างน้อย**

สามารถหาเกณฑ์ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนได้ดังรูปที่ 5.18 จะเห็นว่าในช่วงฤดูฝนเส้นกราฟของระดับน้ำควบคุมรายเดือนมีการยกตัวสูงขึ้นกว่าปีน้ำน้อย แต่ไม่มากนักเพราะมีปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากช่วงปีดังกล่าว แต่ยังคงรักษาระดับน้ำในช่วงหน้าแล้งให้สูงกว่าระดับเก็บกักต่ำสุด เพราะช่วงฤดูแล้งยังมีน้ำท่าเข้ามาน้อย เมื่อเทียบกับความต้องการน้ำเช่นเดียวกับปีน้ำน้อย

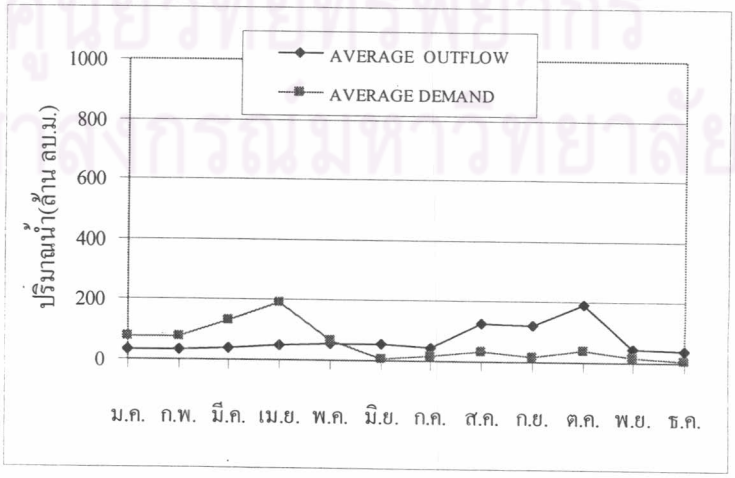
ผลการคำนวณการปล่อยน้ำในแต่ละเดือนของทั้ง 6 ปีของช่วงปีน้ำค่อนข้างน้อย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.8 และ รูปที่ 5.19 แสดงการปล่อยน้ำเฉลี่ย และความต้องการน้ำเฉลี่ยของปีน้ำค่อนข้างน้อย พบว่าการขาดน้ำช่วงฤดูแล้งลดลงมาก เนื่องจากมีการเก็บกักน้ำจากปริมาณน้ำท่าที่มากขึ้นในช่วงฤดูฝน และนำไปใช้ในช่วงต้นฤดูแล้ง มีการขาดน้ำในช่วงเดือน มีนาคม ถึง พฤษภาคม มีปริมาณการขาดน้ำรวมทั้ง 6 ปี เท่ากับ 986 ล้าน ลบ.ม.ตามตารางที่ 5.11 และมีการ



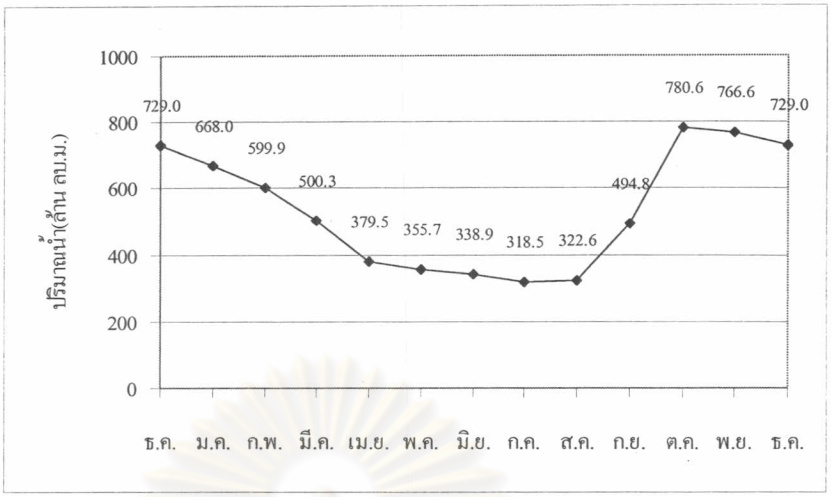
รูปที่ 5.16 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำน้อย

ตารางที่ 5.7 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำน้อย หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2514	40.7	49.2	54.3	55.9	49.8	34.7	41.3	141.8	248.8	200.8	36.7	30.5
2516	26.8	27.5	29.4	46.2	41.1	26.0	30.0	26.0	174.4	360.2	34.5	27.5
2522	31.4	30.3	28.9	43.9	82.3	86.3	94.9	76.8	26.1	172.0	35.5	31.9
2529	43.6	39.1	38.1	55.9	89.3	92.7	51.5	208.2	141.9	26.1	62.5	52.9
2535	34.2	31.2	29.2	37.3	26.2	50.6	33.7	268.7	38.2	322.6	67.8	47.1
2536	28.7	31.1	34.7	40.0	33.7	39.6	26.2	36.7	96.3	59.9	26.2	26.0
เฉลี่ย	34.2	34.7	35.8	46.5	53.7	55.0	46.3	126.4	121.0	190.3	43.8	36.0



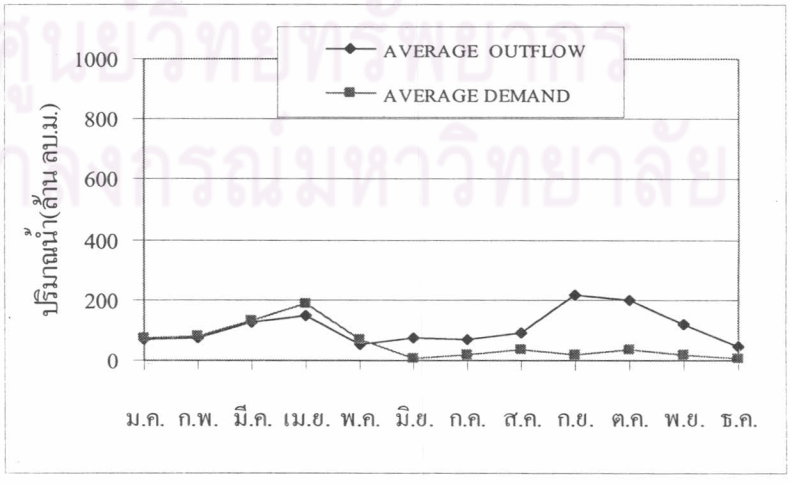
รูปที่ 5.17 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำน้อย



รูปที่ 5.18 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างน้อย

ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างน้อย หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2515	81.0	85.1	138.9	166.7	52.1	29.7	38.4	26.2	353.5	275.5	148.6	56.2
2517	65.9	69.4	123.9	146.8	73.5	29.4	26.1	42.9	26.2	226.2	213.8	63.6
2520	64.1	68.4	118.5	150.5	73.4	44.7	30.4	43.8	432.1	118.4	26.1	37.7
2532	59.9	64.2	118.9	143.4	38.9	247.0	97.5	133.6	30.6	26.2	136.1	49.4
2540	62.8	70.5	115.8	150.4	43.6	26.2	59.6	161.9	252.8	432.5	113.7	55.1
2541	60.0	70.6	122.5	144.0	41.6	77.8	144.4	142.0	212.8	98.7	62.6	26.1
เฉลี่ย	65.6	71.4	123.1	150.3	53.8	75.8	66.1	91.7	218.0	196.3	116.8	48.0



รูปที่ 5.19 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำค่อนข้างน้อย

ปล่อยน้ำเกินความต้องการในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง ธันวาคม ส่วนเดือน มกราคม และกุมภาพันธ์ การปล่อยน้ำมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการน้ำ

3. ช่วงปีน้ำปกติ

สามารถหาเกณฑ์ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนได้ดังรูปที่ 5.20 จะสังเกตเห็นว่าช่วงปลายฤดูแล้งถึงต้นฤดูฝน หรือในช่วง พฤษภาคม ถึง สิงหาคม มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับปีน้ำน้อย และปีน้ำค่อนข้างน้อยโดยรักษาระดับไว้ใน ช่วงประมาณ 370 – 390 ล้าน ลบ.ม สาเหตุเกิดจากในบางปีของปีน้ำปกติจำนวน 13 ปี ในช่วงปลายฤดูแล้งเข้าสู่ต้นฤดูฝน มีปริมาณน้ำท่าไหลเข้าค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงมีการสำรองระดับเก็บน้ำไม่ให้เกิดการขาดน้ำ

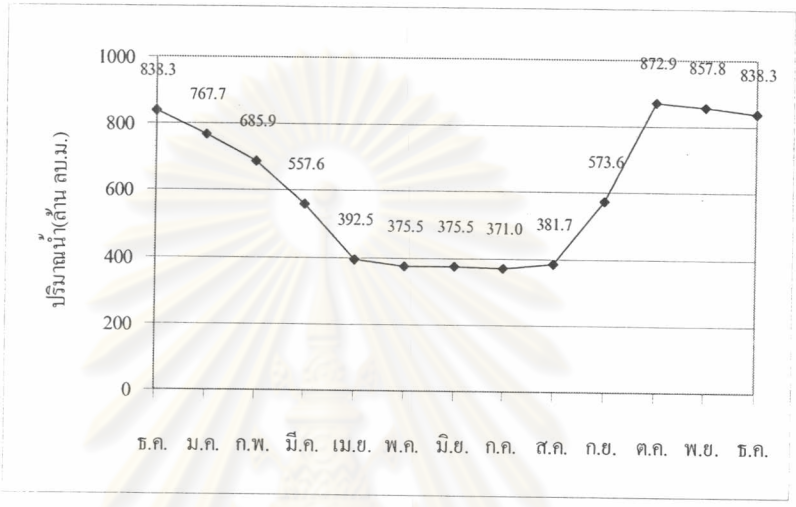
ผลการคำนวณการปล่อยน้ำช่วงปีน้ำปกติ แต่ละเดือนทั้ง 13 ปี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.21 แสดงการปล่อยน้ำเฉลี่ย และความต้องการน้ำเฉลี่ยของปีน้ำปกติ พบว่าการขาดน้ำเฉลี่ยน้อยลงเหลือเพียงเดือนเดียวคือเดือนเมษายน มีปริมาณการขาดน้ำรวมทั้ง 13 ปี เท่ากับ 848 ล้าน ลบ.ม. หรือเฉลี่ย 65 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี. ตามตารางที่ 5.11 การขาดน้ำในเดือนเมษายนนั้น เป็นเพราะในเดือนดังกล่าวมีค่าความต้องการน้ำเฉลี่ยสูงกว่าเดือนอื่นๆมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 189.0 ล้าน ลบ.ม. ส่วนระดับน้ำในช่วงฤดูฝน ช่วงเดือนกันยายน และตุลาคมไม่ถึงระดับการเก็บกักสูงสุด เนื่องจากยังมีส่วนที่ยังพร่องน้ำในอ่างสามารถรับน้ำท่าในช่วงต้นของน้ำหลากไว้ได้ และฟังก์ชันวัตถุประสงค์กำหนดให้ความแตกต่างกำลังสองระหว่างการปล่อยน้ำและความต้องการน้ำน้อยที่สุด จึงมีการเฉลี่ยให้กับเดือนถัดไปด้วยคือ พฤศจิกายน และ ธันวาคม

4. ช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก

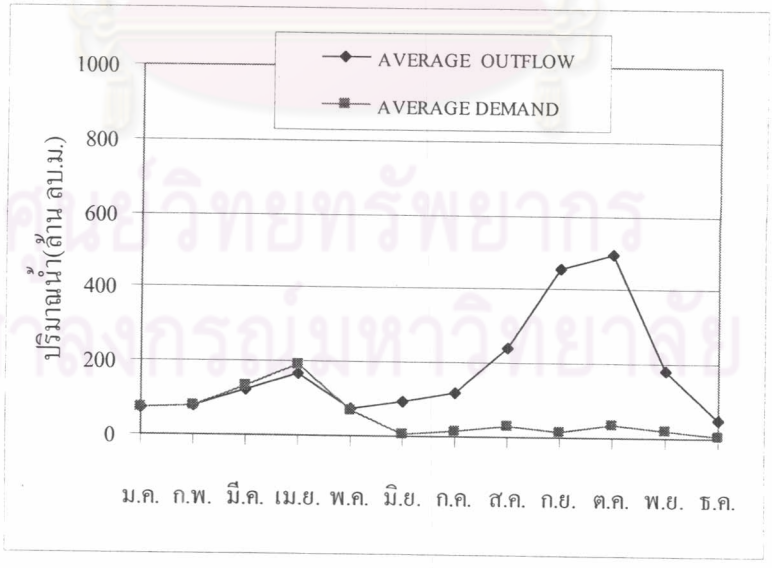
สามารถหาเกณฑ์ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนได้ดังรูปที่ 5.22 พบว่า ในช่วงก่อนฤดูน้ำหลาก 3-4 เดือน คือช่วง พฤษภาคม ถึง สิงหาคม สามารถที่จะกำหนดระดับน้ำให้อยู่ถึงระดับเก็บกักต่ำสุดได้เนื่องจาก ช่วงปีนี้ฤดูฝนมาเร็ว กว่าปีอื่นๆ และน้ำท่าที่เข้ามาในช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือนสิงหาคม ก็มีปริมาณมากกว่าความต้องการน้ำ จึงให้ระบายน้ำส่วนที่เกินความต้องการออกไปทั้งหมด ด้วยการลดระดับน้ำให้อยู่ใกล้กับระดับเก็บกักต่ำสุด เพื่อรอรับปริมาณน้ำท่าที่จะมาถึงเป็นปริมาณมาก ในเดือนกันยายน และตุลาคม

ผลการคำนวณการปล่อยน้ำช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก แต่ละเดือนทั้ง 4 ปี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.23 แสดงการปล่อยน้ำเฉลี่ย และความต้องการน้ำเฉลี่ยของปีน้ำ

ค่อนข้างมาก พบว่าไม่มีการขาดน้ำ แม้แต่เดือนเดียวจากการพิจารณาในส่วนของค่าเฉลี่ย และมีการปล่อยน้ำเกินความต้องการใน ปริมาณมากตลอดช่วงฤดูฝน เนื่องจากปริมาณน้ำท่าที่เข้ามาค่อนข้างมาก



รูปที่ 5.20 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำปกติ

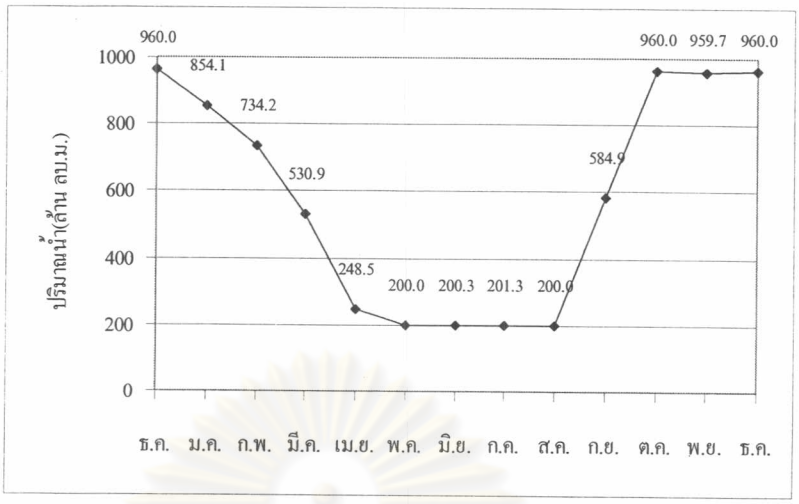


รูปที่ 5.21 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำปกติ

ตารางที่ 5.9 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำปกติ หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2513	72.5	84.6	130.9	181.1	37.0	46.1	148.1	250.3	498.5	95.0	78.1	30.8
2519	81.0	78.0	120.0	166.5	56.0	36.2	63.1	226.6	525.4	685.7	364.6	66.9
2523	71.6	73.1	123.0	163.7	26.5	70.7	198.2	255.8	442.2	909.9	115.0	43.8
2524	73.5	74.5	115.5	172.8	55.3	35.3	209.5	619.8	352.7	72.5	151.1	56.4
2525	82.4	81.2	121.3	173.6	51.8	55.4	25.9	26.0	866.8	788.1	187.2	73.1
2526	104.9	94.45	133.8	164.2	28.7	26.13	36.39	163.8	218.9	953	293.5	92.78
2527	84.2	84.6	131.0	181.0	46.8	89.2	162.9	131.3	412.9	761.8	205.4	71.6
2531	70.28	73.51	114.8	163.5	217.7	211.7	69.44	132.4	25.88	112.8	272	51.08
2533	59.7	67.5	110.2	154.4	28.7	218.2	142.2	170.2	82.1	546.8	192.5	39.8
2534	84.8	77.9	115.2	160.7	29.0	72.5	48.1	279.6	982.6	533.6	45.2	28.0
2537	56.98	68.23	110.5	159.1	49.73	120.6	253.6	287.3	834.5	292.2	26.02	29.13
2542	47.7	62.3	110.2	177.4	243.0	146.3	54.5	133.5	447.2	639.9	324.2	26.1
2544	72.63	91.97	126.6	167	112.4	99.96	115.5	458.5	246.9	25.98	129.7	39.31
เฉลี่ย	74.0	77.8	120.2	168.1	75.6	94.5	117.5	241.1	456.7	493.6	183.4	49.9

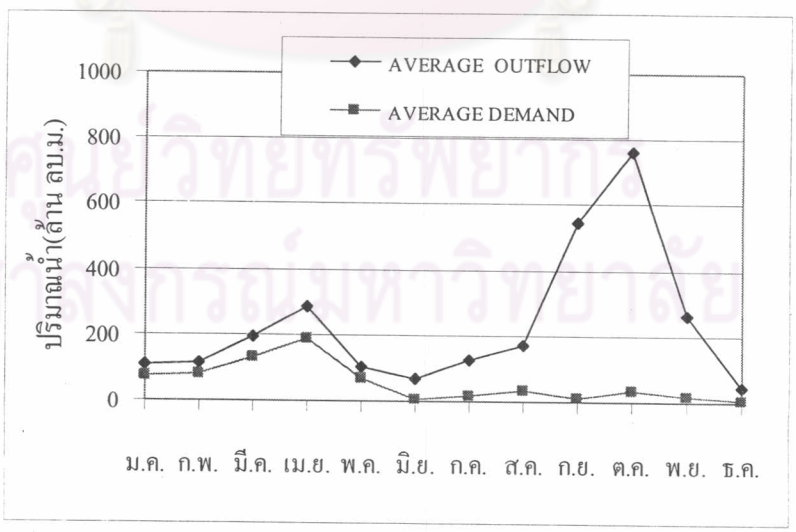
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.22 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก

ตารางที่ 5.10 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2518	107.0	112.6	196.4	277.8	63.2	60.8	189.2	204.7	598.8	817.8	105.6	29.4
2528	123.0	123.0	203.1	295.1	100.4	67.6	156.4	335.8	588.0	609.7	403.6	74.0
2530	111.7	118.3	194.7	275.9	60.8	36.3	31.2	39.0	873.2	693.4	132.7	42.4
2539	100.5	108.9	189.8	281.6	186.5	115.7	117.2	96.2	128.4	934.5	397.7	45.0
เฉลี่ย	110.5	115.7	196.0	282.6	102.7	70.1	123.5	168.9	547.1	763.9	259.9	47.7



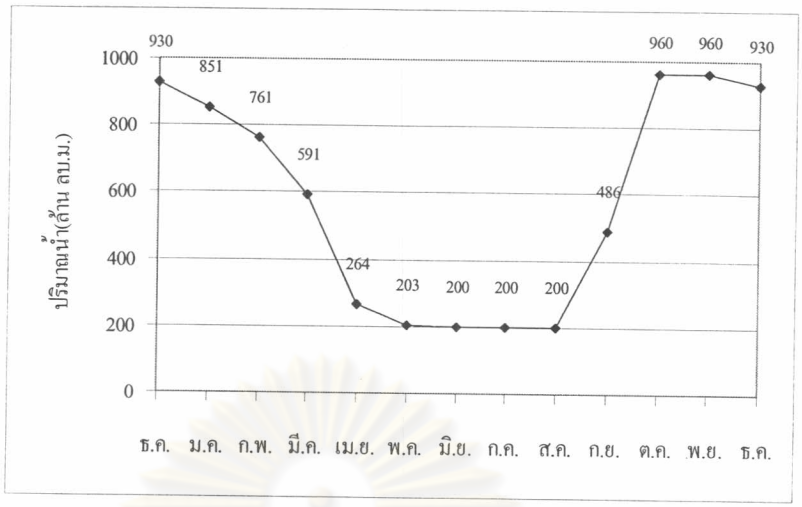
รูปที่ 5.23 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำค่อนข้างมาก

5. **ช่วงปีน้ำมาก**

สามารถหาเกณฑ์ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนได้ดังรูปที่ 5.24 ซึ่งคล้ายกับกรณีของช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก คือ จะรักษาระดับน้ำก่อนช่วงน้ำหลากให้อยู่ในระดับเก็บกักต่ำสุดเพื่อรอรับน้ำท่าในปริมาณมาก และจะรักษาระดับเก็บกักสูงสุดในช่วงปลายฤดูฝน เพื่อให้มีปริมาณน้ำพอสำหรับความต้องการน้ำตลอดฤดูแล้ง

ผลการคำนวณการปล่อยน้ำช่วงปีน้ำมาก แต่ละเดือนทั้ง 4 ปี ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.25 แสดงการปล่อยน้ำเฉลี่ย และความต้องการน้ำเฉลี่ยของปีน้ำมาก พบว่าไม่มีการขาดน้ำ แม้แต่เดือนเดียวจากค่าเฉลี่ย และมีการปล่อยน้ำเกินความต้องการใน ปริมาณมากตลอดช่วงฤดูฝน เช่นเดียวกับช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก แต่เนื่องจาก เดือนตุลาคม 2521 และเดือนกันยายน 2545 มีปริมาณน้ำท่ามากจนเกิดภาวะน้ำท่วมจนทำให้การปล่อยน้ำ มีค่ามากกว่าข้อจำกัดในการระบายน้ำซึ่งกำหนดไว้เท่ากับ 600 ลบ.ม. ต่อ วินาที หรือ 1555.20 ล้าน ลบ.ม. ต่อเดือน จึงทำให้ค่า Fitness Value จากสมการวัตถุประสงค์ มีค่ามากเพราะการระบายน้ำเกินข้อจำกัดที่ตั้งไว้ ถึงแม้ว่าจะพร่องน้ำในอ่างให้อยู่ในระดับเก็บกักต่ำสุดก่อนถึงช่วงน้ำหลากก็ตาม ก็ไม่สามารถทำให้การระบายน้ำน้อยกว่า 600 ลบ.ม.ต่อวินาที จึงเป็นผลให้ เกิดภาวะน้ำท่วม และระบายน้ำที่อัตรา 1955.10 ล้าน ลบ.ม. ใน เดือนตุลาคม 2521 และ 1951.20 ล้าน ลบ.ม. ในเดือน กันยายน 2545

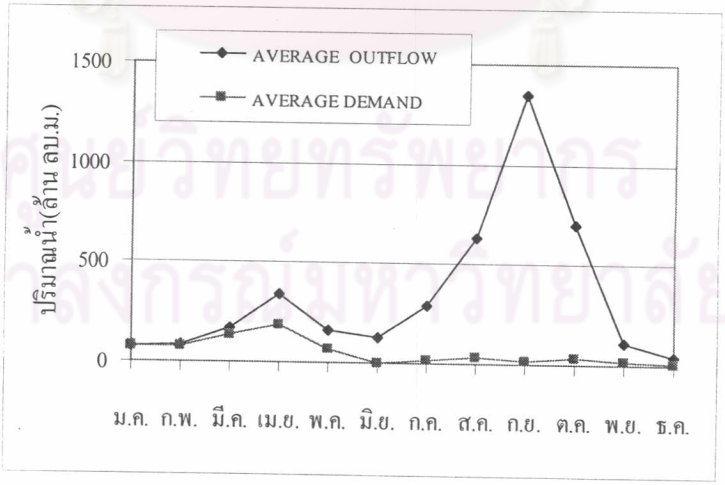
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.24 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำมาก

ตารางที่ 5.11 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำมาก หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ปี พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
2521	93.6	90.0	167.4	328.8	90.9	43.2	393.1	739.4	605.6	1955.1	72.8	67.2
2538	69.4	76.3	154.8	319.6	78.3	26.2	105.5	843.9	1394.9	285.3	102.4	41.7
2543	56.0	67.7	145.4	360.6	349.5	327.5	601.4	781.3	1434.7	325.3	113.6	35.3
2545	104.6	104.8	203.0	346.8	125.0	118.8	52.3	160.9	1951.2	232.4	162.4	26.0
เฉลี่ย	80.9	84.7	167.7	339.0	160.9	128.9	288.1	631.4	1346.6	699.5	112.8	42.6



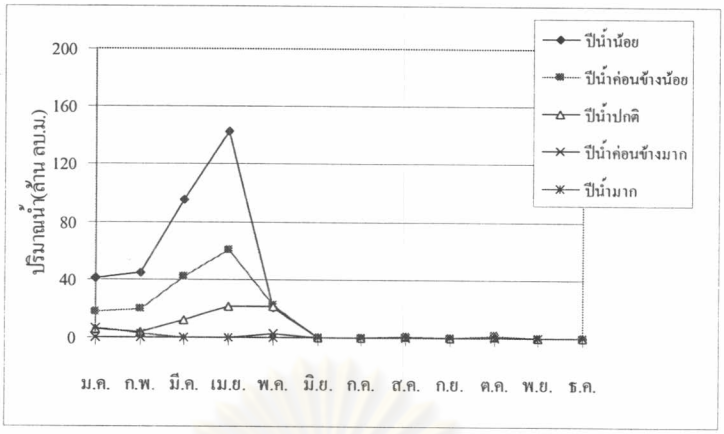
รูปที่ 5.25 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำมาก

จากการใช้ เกณฑ์ย่อยหาปริมาณน้ำควบคุมทั้ง 5 แบบ สามารถแสดงการขาดน้ำเฉลี่ยทั้ง 5 ช่วง ได้ดังรูปที่ 5.26 ซึ่งเดือนเมษายน มีการขาดน้ำมากที่สุด เพราะมีค่าเฉลี่ยความต้องการน้ำมากที่สุด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และในรูปที่ 5.27 แสดงการปล่อยน้ำเกินความต้องการเฉลี่ย พบว่าปีน้ำมากมีการปล่อยน้ำเกินความต้องการ มากที่สุดใน เดือน กันยายน เพราะมีน้ำท่าสูงสุดในช่วงนี้ ส่วนปีน้ำปกติและปีน้ำค่อนข้างมาก มีการปล่อยน้ำเกินความต้องการ มากที่สุดใน เดือนตุลาคม เนื่องจากมีน้ำท่าสูงสุดในช่วงเดือนดังกล่าวเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของแต่ละช่วง

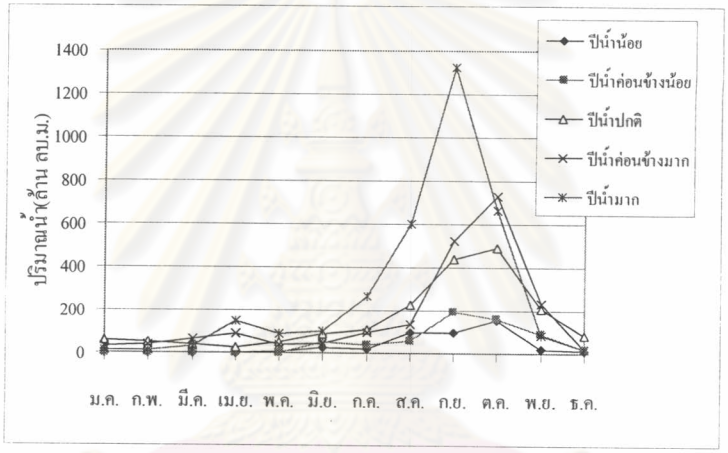
จากการใช้โปรแกรม GA เพื่อหาปริมาณการขาดน้ำ และปริมาณน้ำส่วนเกินจากความต้องการ ทั้ง 33 ปี โดยแยกเป็น 2 แบบคือ แบบการแบ่งน้ำ เป็น 5ช่วงได้เกณฑ์ปริมาณน้ำควบคุม 5 กรณี เรียกว่าเกณฑ์ย่อย กับ แบบช่วงเดียว 33 ปีเรียกว่าเกณฑ์รวม มาเปรียบเทียบกัน ได้ผลคือ แบบเกณฑ์ย่อย ได้ผลการขาดน้ำรวม 3958.84 ล้าน ลบ.ม. เป็นจำนวน 121 เดือน และระบายน้ำส่วนเกิน 47125.44 ล้าน ลบ.ม. ส่วนแบบเกณฑ์รวม ได้ผลการขาดน้ำรวม 9000.9 ล้าน ลบ.ม. เป็นจำนวน 132 เดือน และระบายน้ำส่วนเกิน 54348.83 ล้าน ลบ.ม. ดังแสดงในตารางที่ 5.12

และเมื่อพิจารณาการขาดน้ำต่อความต้องการน้ำในหน่วยของจำนวนเดือน พบว่าแต่ละเดือนมีขนาดความวิกฤติ ของการขาดน้ำไม่เท่ากัน เมื่อเทียบกับความต้องการน้ำ จึงแบ่งค่าที่ยอมให้เกิดการขาดน้ำได้ออกเป็น 4 ขนาด 0% (ทุกขนาดที่ขาดน้ำ) , 10% , 20% และ 30% (คือความรุนแรงในการขาดน้ำที่ยอมให้ที่ 10 , 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)พบว่า เมื่อเทียบความวิกฤติ ทั้ง 4 ขนาดนี้แล้ว ผลรวมเป็นจำนวนเดือนที่ยอมให้มีการขาดน้ำแต่ละขนาดจากการใช้เกณฑ์ย่อยให้ผลการขาดน้ำเป็นจำนวนเดือนน้อยกว่าในทุกขนาดความวิกฤติ

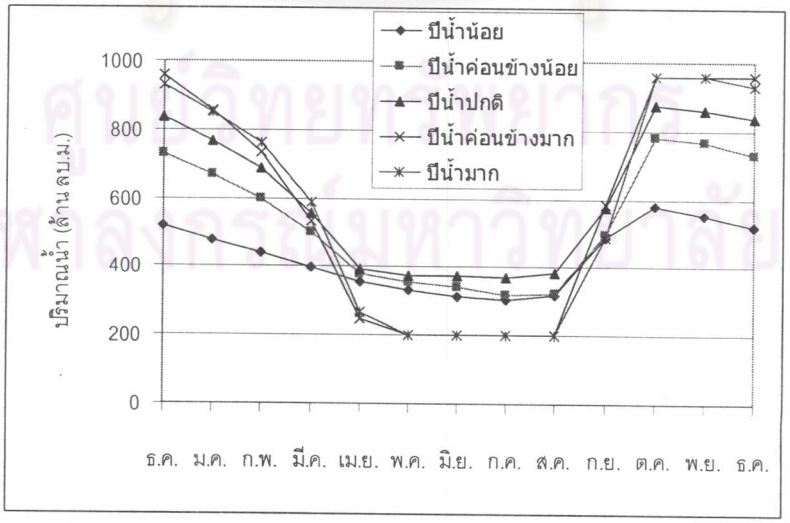
รูปที่ 5.28 แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์ย่อยทั้ง 5 รูปแบบ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเกณฑ์การบริหารอ่างเก็บน้ำป่าสักฯได้



รูปที่ 5.26 ค่าเฉลี่ยการขาดน้ำ ทั้ง 5 ช่วง จากการใช้เกณฑ์ย่อย



รูปที่ 5.27 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำเกินความต้องการ ทั้ง 5 ช่วง จากการใช้เกณฑ์ย่อย



รูปที่ 5.28 การเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ย่อยทั้ง 5 รูปแบบ

ตารางที่ 5.12 ผลการจำลองการวางแผนการปล่อยน้ำ ของเขื่อนป่าสักฯ จากเกณฑ์การปฏิบัติที่พัฒนาขึ้นด้วย GA

เปรียบเทียบการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยแบบ 5 ช่วง กับเกณฑ์ปฏิบัติการรวมแบบช่วงเดียว รวม 33 ปี

หน่วย ล้าน ลบ.ม.

ช่วงปีน้ำ	จำนวนปีในช่วง (ปี)	การขาดน้ำ				การขาดน้ำในแต่ละขนาดที่ยอมให้ (เดือน)				การปล่อยน้ำเกินความต้องการ		
		AVERAGE	MAX	SUM	(MONTH)	0%	10%	20%	30%	AVERAGE	MAX	SUM
น้อย	6	346	387	2,074	30	30	30	29	26	429	632	2,573
ค่อนข้างน้อย	6	164	212	986	32	32	28	27	17	618	903	3,709
ปกติ	13	65	123	848	53	53	32	14	7	1,479	1,842	19,225
ค่อนข้างมาก	4	3	7	12	2	2	1	0	0	2,050	2,337	8,200
มาก	4	9	30	38	4	4	2	1	0	3,354	3,905	13,417
รวมเกณฑ์ย่อย 5 ช่วง	**33**	**120**	**387**	**3,959**	**121**	**121**	**93**	**71**	**50**	**1,428**	**3,905**	**47,125**
เกณฑ์รวมช่วงเดียว	**33**	**273**	**327**	**9,001**	**132**	**132**	**123**	**118**	**109**	**1,647**	**4,236**	**54,349**

5.4 การทดสอบการปฏิบัติการจริงของโครงการ เทียบกับ เกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ GA

การทดสอบการปฏิบัติการจริงของโครงการ เทียบกับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ GAs มีการเปรียบเทียบค่าต่างๆที่คำนวณได้ ตั้งแต่อ่างเก็บน้ำสามารถใช้เก็บน้ำได้สมบูรณ์ทั้งปี เริ่มจาก ปี พ.ศ. 2543 ถึง 2546 รวม 4 ปี โดยเริ่มจากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำควบคุมที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs กับปริมาตรน้ำจริงในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ จากนั้นคำนวณหาปริมาณการระบายน้ำเทียบกับความต้องการน้ำเพื่อหาปริมาณการขาดน้ำ รูป5.29–5.32 แสดงปริมาณน้ำควบคุมด้วยเกณฑ์ปฏิบัติการย่อยที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs เทียบกับปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจริงตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543 ถึง 2546

จากการพัฒนาเกณฑ์ปฏิบัติการย่อยทั้ง 5 รูปแบบ โปรแกรมได้คำนวณหาค่า การระบายน้ำจากอ่างรายเดือนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 – 2545 นั้นสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกับปฏบัติการจริงของอ่างได้ 3 ปี คือ พ.ศ.2543 ,2544 และ 2545 และคำนวณหาการระบายน้ำเพิ่มเติมของปี พ.ศ. 2546 จากการเลือกใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยที่เหมาะสม จากนั้นนำค่าการระบายน้ำจากการปฏิบัติการจริงและจากการคำนวณของโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการน้ำรายเดือน แล้วพิจารณาการขาดน้ำที่เกิดขึ้นจากทั้งสองกรณีต่อไป

การคำนวณการระบายน้ำของโปรแกรม ได้ผลการคำนวณตามตารางที่ 5.13 โดยในปี พ.ศ.2543 และ พ.ศ.2545 ใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยแบบช่วงปีน้ำมาก และปี พ.ศ.2544 ใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยแบบช่วงปีน้ำปกติ ได้ผลการคำนวณการระบายน้ำจากโปรแกรม ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5.3 ของช่วงปีน้ำปกติ และปีน้ำมาก ส่วนปี พ.ศ.2546 ไม่อยู่ในโปรแกรมที่ได้คำนวณไว้ จึงต้องมีการคำนวณการระบายน้ำออกจากอ่างฯ โดยเลือกใช้เกณฑ์ย่อยของปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนที่เหมาะสมที่จะใช้กับปีนี้คือเลือกใช้เกณฑ์ย่อยแบบช่วงปีน้ำปกติ เพราะมีปริมาณน้ำไหลลงอ่างรวม 1738.41 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งอยู่ในช่วงปีน้ำปกติ ตามที่มีการแบ่งขนาดของปริมาณน้ำท่า เป็น 5 ช่วงของการศึกษานี้ ตารางที่ 5.14 แสดงการคำนวณปริมาณน้ำท่วมจากการระบายน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เทียบกับการคำนวณปริมาณน้ำท่วมจากโปรแกรม GAs

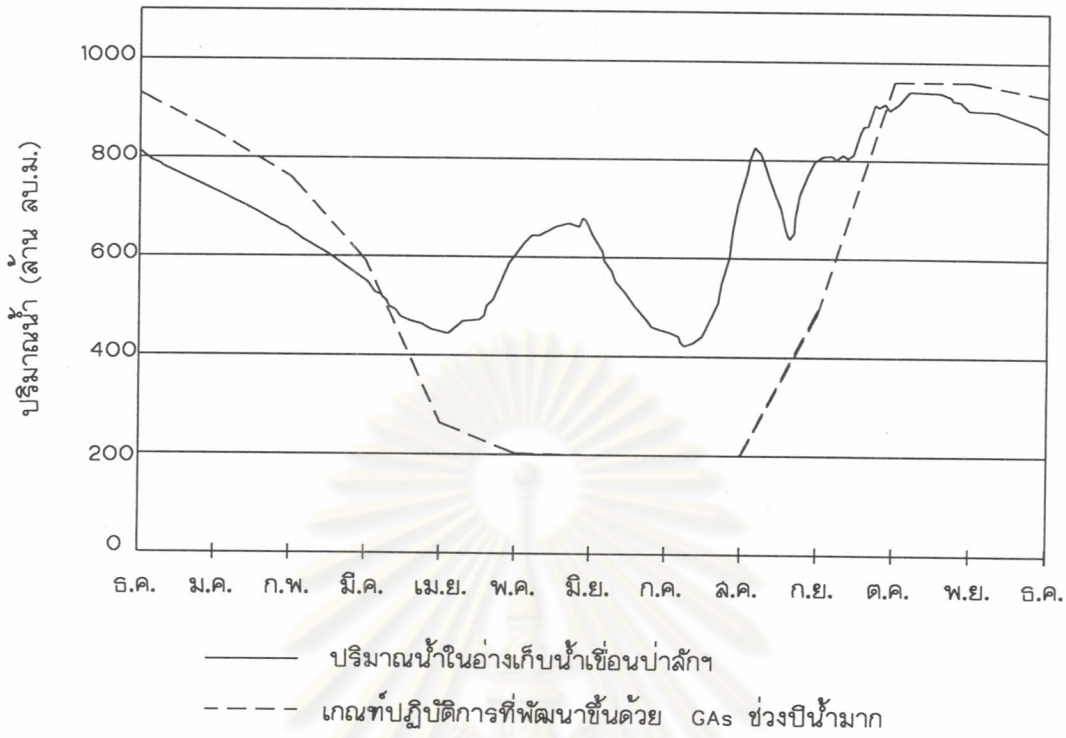
การควบคุมปริมาณน้ำในอ่างปีพ.ศ.2543 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของปีน้ำมาก พิจารณารูปที่5.29 พบว่าการปฏิบัติการจริงของอ่างเก็บน้ำมีการเก็บน้ำในช่วงก่อนเข้าสู่ฤดูน้ำหลากมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมได้ จากรูปที่ 5.33 พบว่าการระบายน้ำสูงสุดในเดือนกันยายน เท่ากับ 1716 ล้านลบ.ม. ซึ่งมีค่าเกินกว่า 600 ลบ.ม.ต่อวินาทีหรือ 1555.2 ล้านลบ.

ม.ต่อเดือนอยู่ 10.66 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้โปรแกรม GA มีการระบายน้ำสูงสุดเพียง 1434.75 ล้าน ลบ.ม. แสดงให้เห็นว่าการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยช่วยลดปริมาณน้ำท่วมได้ดีกว่า พิจารณาการขาดน้ำ พบว่าการขาดน้ำรวมในปี 2543 เท่ากับ 102 ล้าน ลบ.ม. เมื่อใช้ GAs คำนวณปริมาณน้ำควบคุมสามารถลดการขาดน้ำเหลือเพียง 30 ล้าน ลบ.ม. แสดงให้เห็นว่า เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยที่พัฒนาขึ้นสามารถลดปริมาณการขาดน้ำได้ดีขึ้น

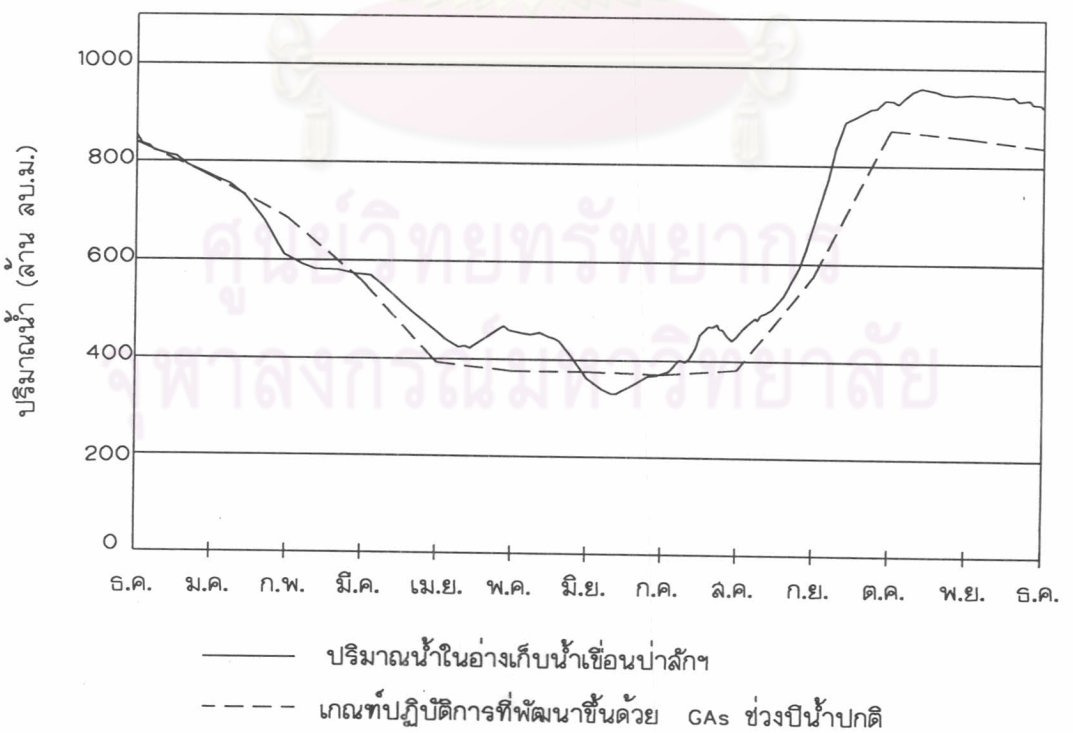
การควบคุมปริมาณน้ำในอ่างปีพ.ศ.2544 ซึ่งอยู่ในช่วงปีน้ำปกติ พิจารณารูปที่ 5.29 พบว่าปริมาตรน้ำในอ่างเก็บน้ำจริงแต่ละเดือนมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์ปฏิบัติการควบคุมปริมาณน้ำรายเดือน ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs แสดงให้เห็นว่า ในช่วงปีน้ำปกติ การรักษาระดับน้ำจะไม่มีความใกล้เคียงกับ เส้น Operation Rule Curve ของอ่างดูเส้น Operation Rule Curve ที่ภาคผนวก ก แต่จะมีการปรับตัวเพื่อลดการขาดน้ำ และบังเอิญในปี 2544 นี้ก็มีระดับน้ำค่อนข้างใกล้เคียงกับเกณฑ์ปฏิบัติการควบคุมปริมาณน้ำรายเดือนที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs แบบที่ 3 (ช่วงปีน้ำปกติ)

เมื่อพิจารณาการขาดน้ำ จากตารางที่ 5.14 พบว่าการขาดน้ำในปี 2544 เท่ากับ 174 ล้าน ลบ.ม. เนื่องจากมีการระบายน้ำเกินความต้องการเป็นจำนวนมากในเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้สองเดือนถัดมามีการขาดน้ำค่อนข้างสูง แต่เมื่อใช้ GAs คำนวณปริมาณน้ำควบคุม สามารถลดการขาดน้ำเหลือเพียง 39 ล้าน ลบ.ม. ส่วนการระบายน้ำพบว่าทุกเดือนของทั้งกรณีการระบายน้ำจริง และการคำนวณด้วย GAs ไม่มีการระบายน้ำเกินกว่า 1555.2 ล้านลบ.ม. แสดงให้เห็นว่าการ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยช่วยลดปริมาณการขาดน้ำได้ดีกว่า

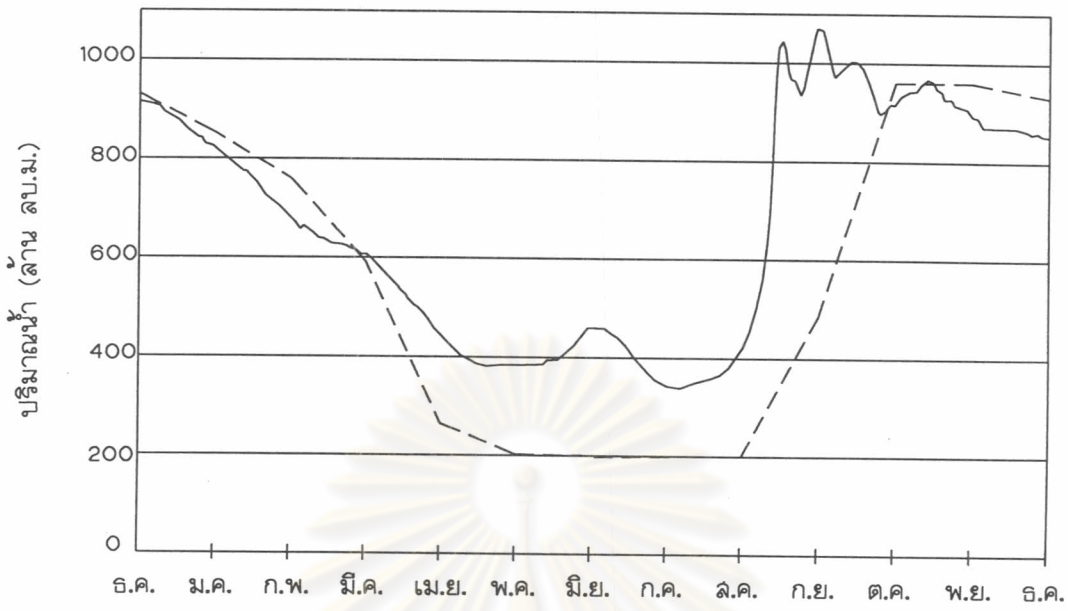
การควบคุมปริมาณน้ำในอ่างปีพ.ศ.2545 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ของปีน้ำมาก พิจารณารูปที่ 5.31 ระดับน้ำจริงในอ่างเก็บน้ำก่อนถึงช่วงฤดูน้ำหลากมีค่าสูงกว่าจากการคำนวณด้วย GAs ประมาณ 200 ล้าน ลบ.ม. ทำให้มีโอกาสการเกิดน้ำท่วมขึ้นได้ โดยในเดือนกันยายนนี้ระดับน้ำเก็บกักจริงจึงมีปริมาตรมากกว่า 1000 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งมากกว่าระดับเก็บกักสูงสุดของอ่าง ส่วนการเลือกใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยปริมาณควบคุมรายเดือนด้วย GAs พบว่า ไม่มีการเก็บกักน้ำในอ่างเก็บน้ำเกินกว่าความจุสูงสุดของระดับเก็บกัก (960 ล้าน ลบ.ม.) พิจารณาการระบายน้ำด้านท้ายน้ำพบว่า ทั้งการระบายน้ำจริงจากอ่างฯ และ การคำนวณด้วย GAs มีการระบายน้ำสูงเกินกว่า 1555.2 ล้าน ลบ.ม. ทั้งคู่ ในเดือนกันยายนดังรูปที่ 5.34 แต่การระบายน้ำของGAs สูงกว่าคือมีปริมาณน้ำท่วมเกินมา 396 ล้าน ลบ.ม. หรือคิดเป็น 25.79 เปอร์เซ็นต์เพราะว่าในเดือนกันยายน ได้ลดระดับน้ำเก็บกักจนเหลือ 486 ล้าน ลบ.ม. ทำให้เกิดการระบายน้ำค่อนข้างมาก



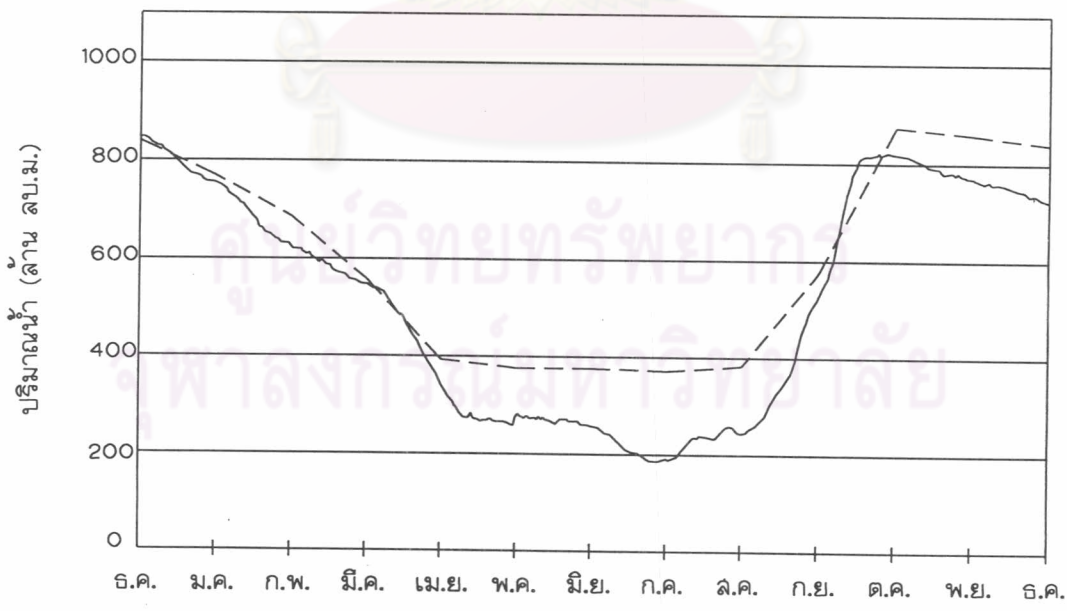
รูปที่ 5.29 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ปี พ.ค.2543



รูปที่ 5.30 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ปี พ.ค.2544



รูปที่ 5.31 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ปี พ.ค.2545



รูปที่ 5.32 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ปี พ.ค.2546

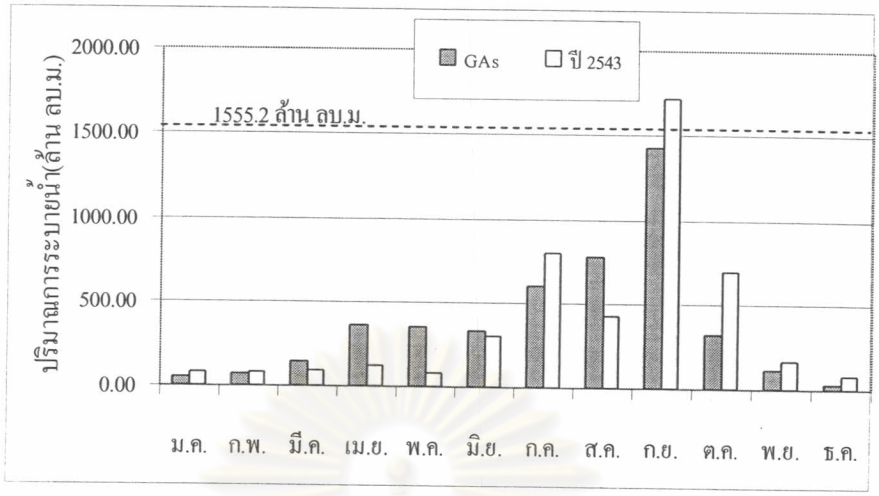
ตารางที่ 5.13 ปริมาณน้ำไหลลงอ่างฯ,ปริมาณการระบายน้ำในแต่ละปี และการคำนวณการระบายน้ำจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA

เดือน	ปริมาณน้ำไหลลงอ่างฯ [1]				ปริมาณการระบายน้ำ [1]				การคำนวณการปล่อยน้ำจากโปรแกรม GAs_2			
	ปี 2543	ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2543	ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546	ปี 2543	ปี 2544	ปี 2545	ปี 2546
ม.ค.	0.79	26.21	49.44	20.74	80.68	76.98	112.84	105.41	55.99	72.634	104.64	67.771
ก.พ.	-	30.57	37.06	20.74	80.4	177.93	148.43	125.28	67.736	91.966	104.796	80.942
มี.ค.	-	21.75	57.65	10.37	94.83	38.21	110.73	101.96	145.399	126.643	203.049	116.474
เม.ย.	47.47	15.59	33.73	3.46	122.22	108.79	187.03	191.81	360.556	166.957	346.816	153.933
พ.ค.	294.45	102.39	70	22.35	84.05	78.02	103.92	104.11	349.461	112.418	125.011	32.077
มิ.ย.	328.86	106.52	120.2	73.66	299.86	182.62	31.86	78.62	327.492	99.963	118.832	67.098
ก.ค.	604.42	116.3	55.3	126.52	800.92	84.98	145.21	183.83	601.388	115.454	52.268	125.971
ส.ค.	782.94	472.26	162.52	313.11	427.74	377.18	44.79	248.08	781.273	458.462	160.853	299.313
ก.ย.	1723.4	442.48	2239.74	603.68	1716.24	162.92	1777.82	308.72	1434.745	246.918	1951.245	407.817
ต.ค.	806.18	332.18	713.26	479.49	692.43	115.88	709.6	184.66	325.275	25.98	232.355	173.591
พ.ย.	136.03	135.62	184.81	32.67	168.37	84.71	229.39	42.29	113.634	129.679	162.414	27.028
ธ.ค.	31.94	43.23	22.64	31.62	79.24	40.52	32	31.44	35.336	39.313	26.036	27.706
รวม	4756	1845	3746	1738	4647	1529	3634	1706	4598	1686	3588	1580

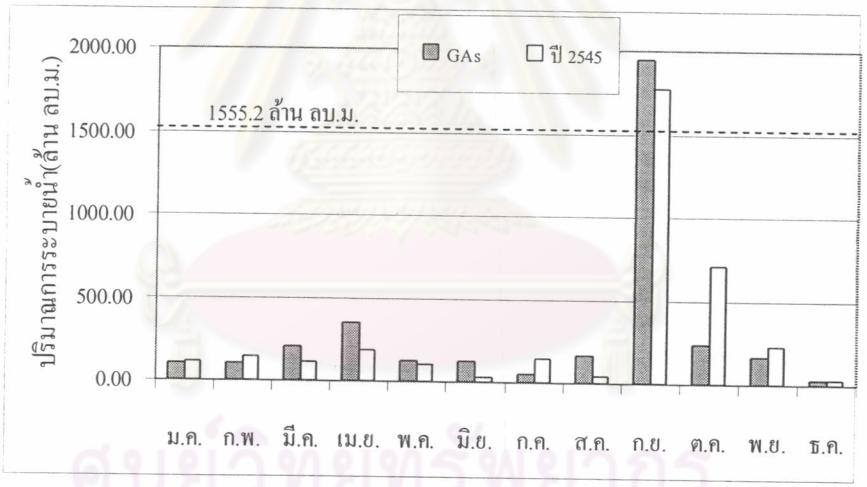
ที่มา 1. กรมชลประทาน

2. การคำนวณจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs

หน่วย ล้าน ลบ.ม.



รูปที่ 5.33 ปริมาณการระบายน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ และผลการคำนวณการระบายน้ำจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ในปี 2543



รูปที่ 5.34 ปริมาณการระบายน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ และผลการคำนวณการระบายน้ำจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ในปี 2545

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่5.14 การคำนวณปริมาณน้ำท่วมจากการระบายน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เทียบกับการคำนวณปริมาณน้ำท่วมจากโปรแกรมGAs

เดือน	จากการระบายน้ำจริง				จากโปรแกรม GAs			
	พ.ศ.2543	พ.ศ.2544	พ.ศ.2545	พ.ศ.2546	พ.ศ.2543	พ.ศ.2544	พ.ศ.2545	พ.ศ.2546
ม.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ก.พ.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
มี.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
เม.ย.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
พ.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
มิ.ย.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ก.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ส.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ก.ย.	161.0	0.0	222.6	0.0	0.0	0.0	396.0	0.0
ต.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
พ.ย.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ธ.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
รวม	161	0	223	0	0	0	396	0
รวม 4 ปี	384				396			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อให้ระดับเก็บกักในเดือนต่อไปไม่เกินระดับเก็บกักสูงสุด ส่วนการระบายน้ำจริงทำให้เกิดน้ำท่วมเกินมา 222.6 ล้าน ลบ.ม. หรือคิดเป็น 14.3 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าการใช้โปรแกรม กับสภาพการระบายน้ำจริงได้เปรียบเสียเปรียบพอกันในเรื่องลดปัญหาน้ำท่วม

พิจารณาการขาดน้ำ จากตารางที่ 5.15 พบว่าการขาดน้ำรวมในปี 2545 เท่ากับ 23 ล้าน ลบ.ม. ส่วนการคำนวณด้วย GA ไม่เกิดการขาดน้ำ แสดงให้เห็นว่าการ ใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยช่วยลดปริมาณการขาดน้ำได้ดีกว่า

การควบคุมปริมาณน้ำในอ่างปีพ.ศ.2546 ซึ่งอยู่ในช่วงปีน้ำปกติ ดูรูปที่ 5.32 จะเห็นว่าระดับน้ำในอ่าง ช่วงเดือน เมษายน และ พฤษภาคม ได้ลดระดับเก็บกักลงเพื่อให้มีการระบายน้ำได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเดือนดังกล่าวเป็นเดือนที่มีความต้องการน้ำสูง และเมื่อพิจารณาระดับน้ำต้นปี กับท้ายปีพบว่ามีค่าลดลง 140 ล้าน ลบ.ม. เป็นการนำน้ำต้นทุนไปใช้อาจมีผลทำให้ปีต่อไปมีน้ำต้นทุนน้อยกว่าที่ควรจะเป็น การขาดน้ำรวมของปี 2546 นี้จึงมีค่าเท่ากับ 36 ล้าน ลบ.ม. ส่วนเกณฑ์ปฏิบัติการย่อยควบคุมปริมาณน้ำที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ยังรักษาระดับน้ำต้นปี กับท้ายปีให้มีระดับเท่าเดิมตามรูปแบบของ Rule Curve ผลการขาดน้ำ จึงมีค่าเท่ากับ 94 ล้าน ลบ.ม. สาเหตุที่ทำให้การคำนวณด้วย GAs มีการขาดน้ำมากกว่าการที่เกิดขึ้นจริงเป็นเพราะ การสร้างเกณฑ์การควบคุมด้วย GAs ของช่วงปีน้ำปกตินี้ เกิดจากการใช้ข้อมูลทางอุทกวิทยาในช่วงปีน้ำปกติ 13 ปี ซึ่งมีอยู่หลายปีที่มีน้ำท่าช่วงหน้าแล้งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของช่วงนี้มาก เช่นปี พ.ศ.2525 และ 2526 จึงมีการสำรองน้ำในอ่างเก็บน้ำไว้ค่อนข้างมากเพื่อลดการขาดน้ำในหลาย ๆปี และเมื่อนำเกณฑ์ควบคุมดังกล่าวมาใช้กับปี 2546 ทำให้การระบายน้ำมีค่าน้อยไปด้วย ประกอบกับเดือนเมษายน 2546 มีน้ำท่าเข้ามาเพียง 3 ล้าน ลบ.ม. ทำให้การขาดน้ำจากการคำนวณมากกว่า เหตุการณ์จริง พิจารณาการระบายน้ำ พบว่าการระบายน้ำของอ่างเก็บน้ำเหตุการณ์จริง และจากการคำนวณจากการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs ทั้งคู่ไม่มีปัญหาเรื่องการระบายน้ำ

การควบคุมปริมาณน้ำในอ่างรวม 4 ปี พ.ศ.2543-2546 พิจารณาด้วยผลรวมและค่าเฉลี่ย

การระบายน้ำจริงรวม 4 ปีมีค่าเท่ากับ 11479 ล้าน ลบ.ม. ส่วนการระบายน้ำรวมจากการใช้โปรแกรมมีค่า 11452 ล้าน ลบ.ม. มีค่าต่างกัน 27 ล้าน ลบ.ม. หรือต่างกัน 0.229 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าค่าการระบายน้ำรวม 4 ปีของการคำนวณด้วยโปรแกรม GAs และการระบายน้ำ

ที่เกิดขึ้นจริงมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการสูญเสียจากการระเหยและรั่วซึมตลอด 4 ปีของการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมมีค่าใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริง

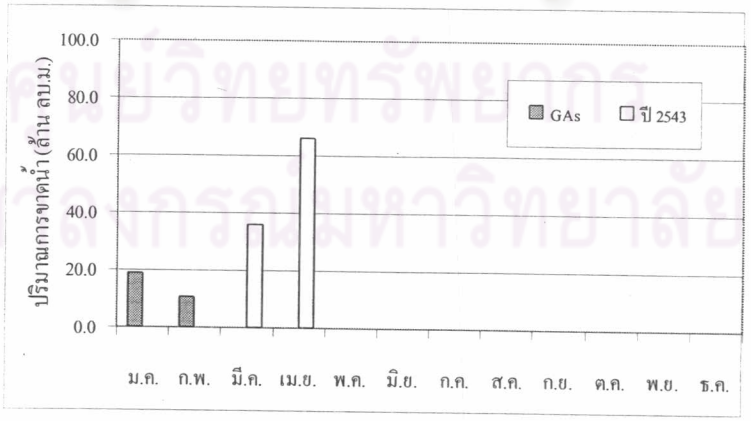
เมื่อพิจารณาการขาดน้ำของทั้งการเกิดขึ้นจริงและการคำนวณด้วยGAs มาเปรียบเทียบกัน จากตารางที่ 5.15 การระบายน้ำจริงมีผลการขาดน้ำรวม เท่ากับ 335.65 ล้าน ลบ.ม. จำนวนเดือนในการขาดน้ำเท่ากับ 8 เดือน ส่วนการคำนวณตามเกณฑ์ปฏิบัติการย่อยมีการขาดน้ำรวมเท่ากับ 162.39 ล้าน ลบ.ม. จำนวนเดือนในการขาดน้ำเท่ากับ 10 เดือน จากรูปที่ 5.39 สามารถแสดงผลเฉลี่ยการขาดน้ำทั้ง 4 ปี เป็นรายเดือนพบว่าจากการระบายน้ำจริงให้ค่าการขาดน้ำมีค่ามากแม้ช่วงเวลาจะน้อย ส่วนการระบายน้ำที่เกิดจากการใช้ GAs ให้ค่าการขาดน้ำที่มีจำนวนเดือนมากกว่าแต่มีปริมาณรวมน้อย คือเฉลี่ยกันขาดน้ำในแต่ละเดือน สรุปได้ว่า การใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยที่คำนวณจาก GAs ช่วยลดปริมาณการขาดน้ำ และความวิกฤต ได้ดีกว่าการปฏิบัติการจริง

เมื่อพิจารณาการเกิดน้ำท่วม หรือมีการระบายน้ำเกินความสามารถในการระบายน้ำด้านท้ายน้ำ พบว่าจากการระบายน้ำจริงตลอด 4 ปีที่พิจารณา มีการระบายน้ำเกินความสามารถในการระบายน้ำหรือทำให้น้ำท่วมรวม 2 เดือน มีผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลเกินกว่าความสามารถในการระบายน้ำด้านท้ายน้ำเท่ากับ 384 ล้าน ลบ.ม. และมีบางช่วงเวลาที่มีระดับการเก็บกักเกินระดับเก็บกักสูงสุดของอ่างเก็บน้ำอาจทำให้เกิดความเสียหายใหญ่หลวงได้ ส่วนการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการที่พัฒนาด้วยGAs มีผลทำให้การระบายน้ำเกินความสามารถในการระบายน้ำด้านท้ายน้ำ รวม 1 เดือน และมีผลรวมของปริมาณน้ำที่ไหลเกินกว่าความสามารถในการระบายน้ำด้านท้ายน้ำเท่ากับ 396 ล้าน ลบ.ม. ระดับเก็บกักอยู่ในเกณฑ์ที่ดี คือมีระดับเก็บกักทุกช่วงเวลา ต่ำกว่าระดับเก็บกักสูงสุด แสดงว่าการใช้เกณฑ์ปฏิบัติการย่อยที่คำนวณจาก GAs เทียบกับสภาพที่เกิดขึ้นจริง สามารถลดจำนวนเดือนการระบายน้ำเกินความสามารถในการระบายน้ำด้านท้ายน้ำได้ดีกว่า และยังสามารถรักษาระดับปริมาณน้ำให้อยู่ในระดับเก็บกักให้อยู่ในเกณฑ์ไม่เกินค่าสูงสุด ส่วนปริมาณรวมของการระบายน้ำเกินมีค่าใกล้เคียงกัน

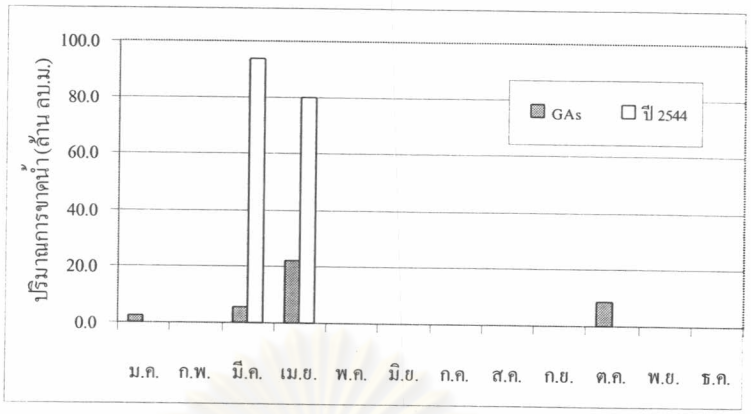
ตารางที่ 5.15 การคำนวณปริมาณการขาดน้ำจากการระบายน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เทียบกับปริมาณการขาดน้ำจากโปรแกรมGAs

เดือน	จากการระบายน้ำจริง				จากโปรแกรม GAs			
	พ.ศ.2543	พ.ศ.2544	พ.ศ.2545	พ.ศ.2546	พ.ศ.2543	พ.ศ.2544	พ.ศ.2545	พ.ศ.2546
ม.ค.	0.0	0.0	0.0	6.2	19.0	2.3	0.0	7.2
ก.พ.	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0
มี.ค.	35.9	93.9	21.5	29.9	0.0	5.5	0.0	15.4
เม.ย.	66.3	80.2	1.8	0.0	0.0	22.0	0.0	35.0
พ.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.2
มิ.ย.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ก.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ส.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ก.ย.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ต.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	0.0	0.0
พ.ย.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ธ.ค.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
รวม	**102**	**174**	**23**	**36**	**30**	**39**	**0**	**94**
รวม 4 ปี	**335.65**				**162.39**			

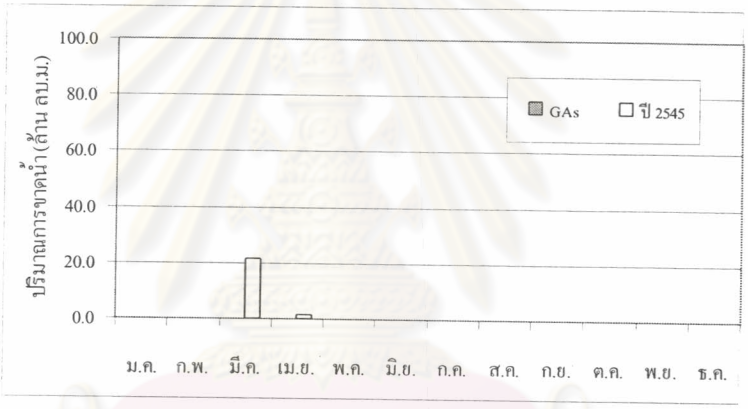
หน่วย ล้าน ลบ.ม. .



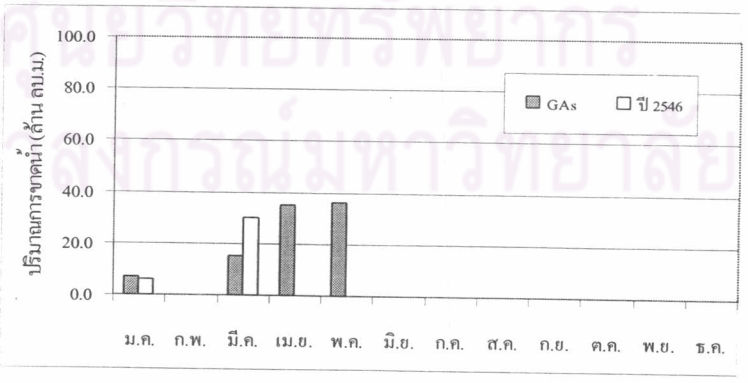
รูปที่ 5.35 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2543 จากการปฏิบัติการจริง กับ ปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs



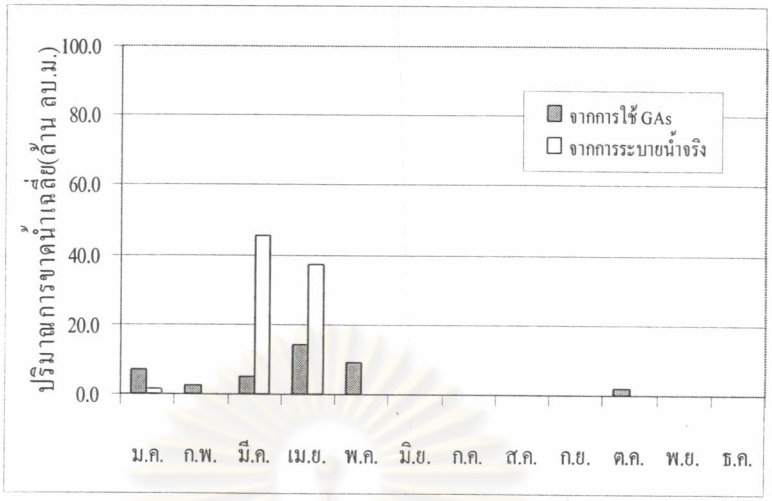
รูปที่ 5.36 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2544 จากการปฏิบัติการจริง กับ ปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs



รูปที่ 5.37 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2545 จากการปฏิบัติการจริง กับ ปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs



รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2546 จากการปฏิบัติการจริง กับ ปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs



รูปที่ 5.39 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำเฉลี่ยจากการปฏิบัติการจริง กับ ปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA

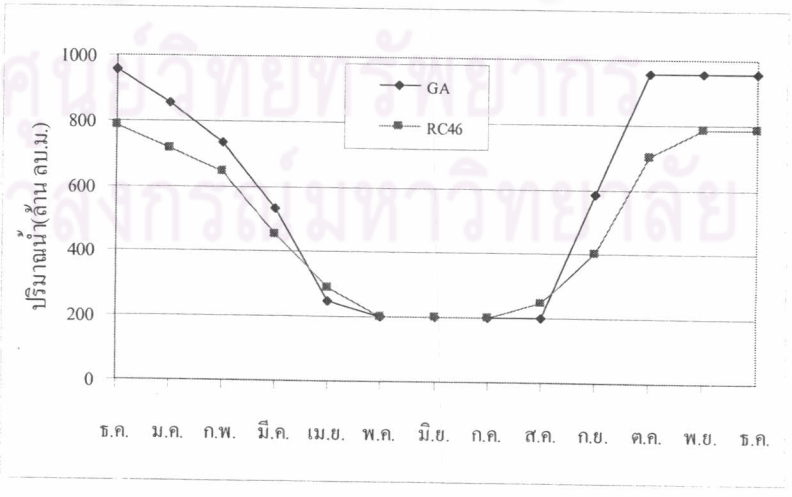
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 การทดสอบเกณฑ์RC46 กับ เกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA

การทดสอบโปรแกรมGA โดยเลือกใช้ปีน้ำค่อนข้างมาก เนื่องจากให้ผลการเปรียบเทียบดีที่สุด เทียบกับเกณฑ์การปฏิบัติงานแบบ RC46 (สภาพปัจจุบัน) แสดงระดับเก็บกักเปรียบเทียบดังรูปที่ 5.40 เมื่อแทนค่าปริมาณการเก็บกักน้ำในอ่างของแต่ละเดือนตามเกณฑ์ RC46 ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543-2546 ด้วยสมการสมดุลน้ำ แล้วหาค่าการระเหยจากปริมาณน้ำเก็บกักแต่ละเดือน ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างความจุ กับพื้นที่ผิวน้ำของอ่าง หาปริมาตรการรั่วซึมเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์จากปริมาตรเก็บกัก แล้วคำนวณเป็นรายเดือน เมื่อแทนค่าทั้งหมดลงในสมการสมดุลน้ำ ก็จะได้ค่าการปล่อยน้ำรายเดือน

เมื่อได้ปริมาณการปล่อยน้ำจากผลการคำนวณ แล้วจึงหาค่าการขาดน้ำ และการไหลล้นอ่าง ได้ผลการคำนวณการขาดน้ำรวม เท่ากับ 174.49 ล้าน ลบ.ม. และการไหลล้นอ่างเท่ากับ 543.18 ล้าน ลบ.ม.

ส่วนการคำนวณด้วยโปรแกรม GA ได้อธิบายวิธีการคำนวณในหัวข้อ 5.1 ซึ่งผลการคำนวณการปล่อยน้ำ การขาดแคลนน้ำ และการไหลล้นอ่าง ด้วยโปรแกรม GA ได้ผลการคำนวณการขาดน้ำรวม เท่ากับ 51.61 ล้าน ลบ.ม. และผลการคำนวณการไหลล้นอ่าง เท่ากับ 296.33 ล้าน ลบ.ม.



รูปที่ 5.40 ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ของเกณฑ์ RC46 และ GA

ตารางที่ 5.16 การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ RC46

	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
STORAGE	785.00	716.00	647.00	453.00	290.00	200.00	200.00	200.00	248.00	400.00	702.00	785.00	785.00	
AREA		148.82	143.38	137.98	119.17	95.89	75.41	75.41	75.41	86.47	111.60	142.29	148.82	
EVAP		0.11	0.11	0.12	0.08	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.08	0.10	
E		16.13	15.11	16.65	9.74	3.52	2.35	1.36	0.00	0.00	0.47	11.98	15.45	**92.77**
L		6.25	5.68	4.58	3.10	2.04	1.67	1.67	1.87	2.70	4.59	6.20	6.54	**46.88**

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
INFLOW 2543	0.79	0.00	0.00	47.47	294.45	328.86	604.42	782.94	1723.24	806.18	136.03	31.94	**4756.32**
INFLOW 2544	26.21	30.57	21.75	15.59	102.39	106.52	116.30	472.26	442.48	332.18	135.62	43.23	**1845.10**
INFLOW 2545	49.44	37.06	57.65	33.73	70.00	120.20	55.30	162.52	2239.74	713.26	184.81	22.64	**3746.35**
INFLOW 2546	20.74	20.74	10.37	3.46	22.35	73.66	126.52	313.11	603.68	479.49	32.67	31.62	**1738.41**
OUTFLOW 2543	47.40	48.21	172.76	197.64	378.89	324.84	601.39	733.07	1568.54	499.12	34.85	9.95	**4616.67**
OUTFLOW 2544	72.82	78.78	194.51	165.76	186.83	102.50	113.27	422.39	287.78	25.12	34.44	21.24	**1705.45**
OUTFLOW 2545	96.05	85.27	230.41	183.90	154.44	116.18	52.27	112.65	2085.04	406.20	83.63	0.65	**3606.70**
OUTFLOW 2546	67.35	68.95	183.13	153.63	106.79	69.64	123.49	263.24	448.98	172.43	0.00	9.63	**1667.27**

ตารางที่ 5.16(ต่อ) การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ RC46

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
DEMAND 2543	74.95	78.76	130.72	188.53	68.05	3.49	18.16	32.34	17.50	34.18	19.03	5.93	**671.64**
DEMAND 2544	74.95	78.52	132.11	188.99	68.22	3.33	16.49	31.33	14.97	34.77	18.77	5.82	**668.27**
DEMAND 2545	75.02	78.13	132.24	188.80	68.15	3.42	16.07	31.40	15.28	34.35	18.92	5.92	**667.69**
DEMAND 2546	75.00	78.44	131.84	188.96	68.25	3.39	16.78	31.80	14.95	35.17	18.73	5.83	**669.14**
SHORTAGE 2543	27.55	30.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**58.10**
SHORTAGE 2544	2.13	0.00	0.00	23.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65	0.00	0.00	**35.02**
SHORTAGE 2545	0.00	0.00	0.00	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.27	**10.17**
SHORTAGE 2546	7.65	9.49	0.00	35.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.73	0.00	**71.20**
SUM SHORTAGE	37.33	40.04	0.00	63.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65	18.73	5.27	**174.49**
SPILL 2543	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.34	0.00	0.00	0.00	**13.34**
SPILL 2544	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**
SPILL 2545	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	529.84	0.00	0.00	0.00	**529.84**
SPILL 2546	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**
SUM SPILL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	543.18	0.00	0.00	0.00	**543.18**

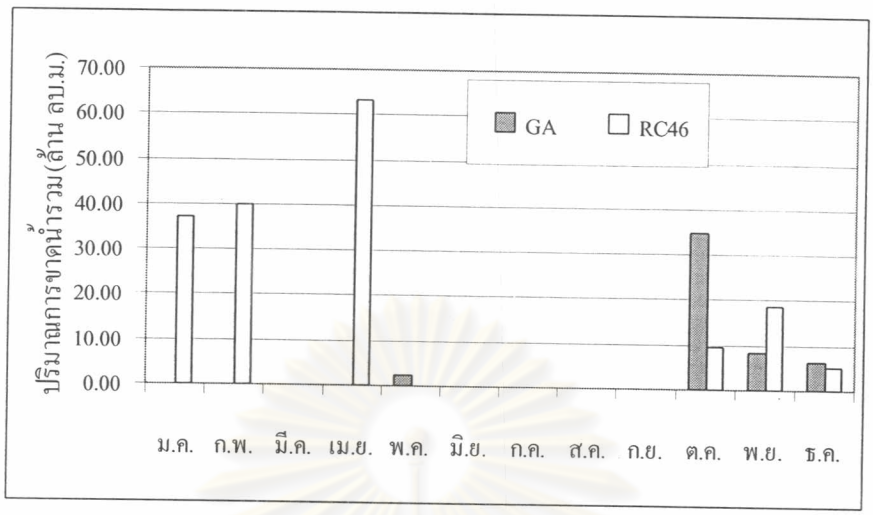
ตารางที่ 5.17 การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA (แบบปีน้ำค่อนข้างมาก)

	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
STORAGE	960.00	854.12	734.20	530.87	248.47	200.00	200.30	201.30	200.00	584.94	960.00	959.70	960.00	
AREA		170.97	157.57	144.80	128.87	86.58	75.40	75.50	75.70	75.40	133.00	170.97	170.93	
EVAP		0.11	0.11	0.12	0.08	0.04	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.08	0.10	
E		18.53	16.61	17.48	10.53	3.18	2.35	1.37	0.00	0.00	0.56	14.40	17.74	**102.74**
L		7.56	6.62	5.27	3.25	1.87	1.67	1.67	1.67	3.27	6.44	8.00	8.00	**55.28**

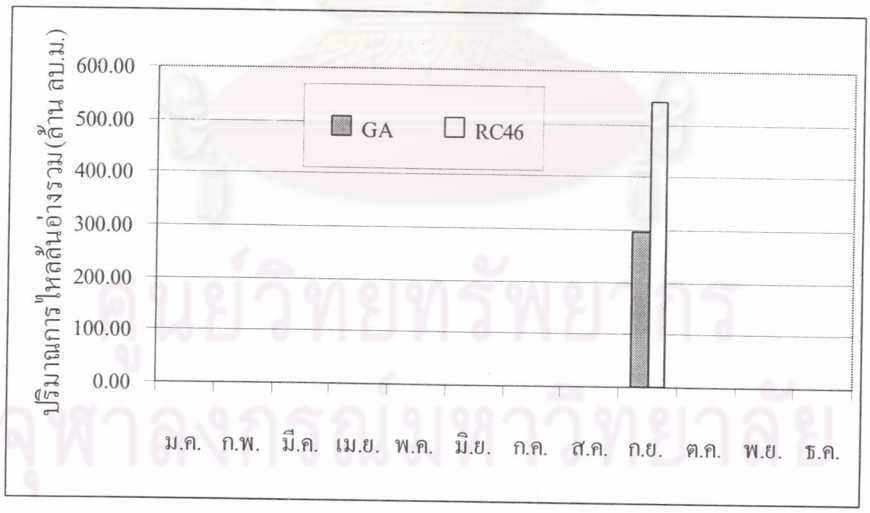
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
INFLOW 2543	0.79	0.00	0.00	47.47	294.45	328.86	604.42	782.94	1723.24	806.18	136.03	31.94	**4756.32**
INFLOW 2544	26.21	30.57	21.75	15.59	102.39	106.52	116.30	472.26	442.48	332.18	135.62	43.23	**1845.10**
INFLOW 2545	49.44	37.06	57.65	33.73	70.00	120.20	55.30	162.52	2239.74	713.26	184.81	22.64	**3746.35**
INFLOW 2546	20.74	20.74	10.37	3.46	22.35	73.66	126.52	313.11	603.68	479.49	32.67	31.62	**1738.41**
OUTFLOW 2543	80.58	96.70	180.58	316.10	337.87	324.54	600.38	782.57	1335.03	424.13	113.94	5.90	**4598.30**
OUTFLOW 2544	106.00	127.27	202.33	284.22	145.81	102.20	112.26	471.89	54.27	0.00	113.53	17.19	**1736.95**
OUTFLOW 2545	129.23	133.76	238.23	302.36	113.42	115.88	51.26	162.15	1851.53	331.21	162.72	0.00	**3591.73**
OUTFLOW 2546	100.53	117.44	190.95	272.09	65.77	69.34	122.48	312.74	215.47	97.44	10.58	5.58	**1580.39**

ตารางที่ 5.17(ต่อ) การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA (แบบปีน้ำค่อนข้างมาก)

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANNUAL
DEMAND 2543	74.95	78.76	130.72	188.53	68.05	3.49	18.16	32.34	17.50	34.18	19.03	5.93	**671.64**
DEMAND 2544	74.95	78.52	132.11	188.99	68.22	3.33	16.49	31.33	14.97	34.77	18.77	5.82	**668.27**
DEMAND 2545	75.02	78.13	132.24	188.80	68.15	3.42	16.07	31.40	15.28	34.35	18.92	5.92	**667.69**
DEMAND 2546	75.00	78.44	131.84	188.96	68.25	3.39	16.78	31.80	14.95	35.17	18.73	5.83	**669.14**
SHORTAGE 2543	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	**0.03**
SHORTAGE 2544	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.77	0.00	0.00	**34.77**
SHORTAGE 2545	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.92	**5.92**
SHORTAGE 2546	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.15	0.25	**10.89**
SUM SHORTAGE	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00	0.00	0.00	0.00	34.77	8.15	6.21	**51.61**
SPILL 2543	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**
SPILL 2544	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**
SPILL 2545	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	296.33	0.00	0.00	0.00	**296.33**
SPILL 2546	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**
SUM SPILL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	296.33	0.00	0.00	0.00	**296.33**



รูปที่ 5.41 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำรวมจากเกณฑ์การปฏิบัติการพัฒนาขึ้นด้วย GA กับเกณฑ์ RC46



รูปที่ 5.42 เปรียบเทียบปริมาณการไหลล้นอ่างรวมจากเกณฑ์การปฏิบัติการพัฒนาขึ้นด้วย GA กับเกณฑ์ RC46