การประยุกต์เจเนติกอัลกอริทึ่มในการวางแผนการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์

นายธนชาติ สุขอนันตวงษ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-53-1303-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN RESERVOIR RELEASE PLANNING FROM PA SAK JOLASID DAM

Mr.Thanachat Sukanantawong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering
Department of Water Resources Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-53-1303-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์เจเนติกอัลกอริทึ่มในการวางแผนการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์
โดย	นายธนชาติ สุขอนันตวงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ) คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักวิจัย) ประธานกรรมการ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล) อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์) กรรมการ

.....
(อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี) กรรมการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนชาติ สุขอนันตวงษ์ : การประยุกต์เจเนติกอัลกอริทึมในการวางแผนการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธ์. (APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN RESERVOIR RELEASES PLANNING FROM PA SAK JOLASID DAM) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล, 201 หน้า. ISBN 974-53-1303-3.

โดยทั่วไปเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ (Rule Curve) เป็นเส้นกราฟเฉลี่ยของระดับควบคุมรายเดือนที่วิเคราะห์จากเหตุการณ์น้ำที่แตกต่างกันในแต่ละปี เมื่อใช้ Rule Curve กับเหตุการณ์น้ำท่าที่มีความแตกต่างกันในแต่ละปี พบว่ายังเกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ และปัญหาน้ำท่วม การสร้าง Rule Curve ที่ผ่านมาได้จากการจำลองสมดุลอ่างเก็บน้ำ ซึ่งพบว่ามีข้อจำกัดอาจไม่ใช่ Rule Curveที่เหมาะสมที่สุดโดยรวม(Global Optimal) ในการศึกษานี้ได้มีการประยุกต์ใช้ GAs เพื่อหา Rule Curve ที่เหมาะสมที่สุดโดยรวม

การศึกษานี้ได้พัฒนาโปรแกรม GAs โดยใช้ภาษาซี จากนั้นได้ประยุกต์ใช้ GAs ในการสร้าง Rule Curve โดยแยกเป็น 2 แบบ แบบแรกเป็นเกณฑ์รวมมี 1 เส้น ใช้กับทุกขนาดของปีน้ำ ส่วนแบบที่สองเป็นเกณฑ์ย่อยมี 5 เส้น แยกตามขนาดของปีน้ำท่า จำนวน 33 ปี ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิผลของ Rule Curve ที่ได้กับ เกณฑ์RC46 ของกรมชลประทาน

จากผลการศึกษาพบว่า ในขั้นตอนของการประยุกต์ใช้ GAs ในการสร้าง Rule Curve ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม มีดังนี้ Population Size เท่ากับ 120, Probability of Crossover(Pc) เท่ากับ 0.95, Probability of Mutation(Pm) เท่ากับ 0.08, Modified Uniform Mutation เท่ากับ 0.3, Weight Factor R_1และ R_2 เท่ากับ 4,400 และ 250 ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบประสิทธิผลของการใช้ Rule Curve พบว่าเกณฑ์รวมมีการขาดน้ำรวม 9,001 ล้าน ลบ.ม. เป็นช่วงเวลา 132 เดือน มีการระบายน้ำส่วนเกิน 54,349 ล้าน ลบ.ม. ส่วนเกณฑ์ย่อยมีการขาดน้ำรวม 3,959 ล้าน ลบ.ม. จำนวนเดือนในการขาดน้ำ 121 เดือน มีการระบายน้ำส่วนเกิน 47,125 ล้าน ลบ.ม. ดังนั้น เกณฑ์ย่อยให้ประสิทธิผลดีกว่าเกณฑ์รวม และนำเกณฑ์ย่อยนี้ไปใช้เปรียบเทียบกับปฏิบัติการจริง ในช่วง 4 ปี ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2543-2546 พบว่า สามารถลดปริมาณการขาดน้ำรวมจาก 335.65 ล้าน ลบ.ม. เหลือ 162.39 ล้าน ลบ.ม. และจำนวนเดือนรวมในการเกิดน้ำท่วมจาก 2 เดือน เหลือ 1 เดือน เมื่อเปรียบเทียบเกณฑ์ย่อย กับ เกณฑ์RC46 ในช่วง 4 ปี พบว่าเกณฑ์ย่อย สามารถลดปริมาณการขาดน้ำรวมจาก174.49 ล้าน ลบ.ม.เป็น 51.61 ล้าน ลบ.ม. และลดปริมาณน้ำท่วมจาก 543.18 ล้าน ลบ.ม. เป็น 296.33 ล้าน ลบ.ม.

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2547

##4470327221: MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: GENETIC ALGORITHMS / RULE CURVE / SHORTAGE / OVERFLOW

THANACHAT SUKANANTAWONG: APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN RESERVOIR RELEASE PLANNING FROM PA SAK JOLASID DAM.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. TUANTAN KITPAISALSAKUL,D.ENG , 201 pp.

ISBN 974-53-1303-3.

Generally, a reservoir operation rule curve is a graph specifying an average of monthly water level control, analyzed from different water years. When using this rule curve with the different runoff situations, it was found that there still existed the water shortage and overflow problems. Previous rule curves, developed from reservoir water balance simulation, were found to have a limitation as probably not being the global optimal rule curve. In this study, the GAs was applied to determine the global optima rule curve.

This study developed a GAs program with C language and applied the GAs to construct 2 types of rule curves. The first type is a general rule curve, applicable to every magnitude of water year. The second type are specific rule curves of 5 cases, classified according to the magnitude of water year within 33 years. The effectiveness of the developed rule curves and the RC46 of the Royal Irrigation Department were compared.

It was found that, in the steps of applying the GAs model to construct the rule curves, the most appropriate parameters were as follows: population size equals 120, probability of crossover(Pc) equals 0.95, probability of mutation(Pm) equals 0.08, modified uniform mutation equals 0.3 , weight factor R1 and R2 equal 4,400 and 250 respectively. From the comparison on the effectiveness of all rule curves, it was found that the general rule curve caused water shortage of 9,001 MCM. in duration of 132 months and water surplus from demand of 54,349 MCM. The specific rule curves caused water shortage of 3,959 MCM. in duration of 121 months and water surplus from demand of 47,125 MCM. Therefore, the specific rule curves were more efficient than the general rule curve. Then the specific rule curves were applied and compared with the actual operation in the years 2000-2003. It was found that the water shortage was reduced from 335.65 MCM. to 162.39 MCM. and the overflow duration was reduced from 2 months to 1 month. When the specific rule curves were applied and compared with the RC46 in the same 4 years, it was found that the water shortage was reduced from 174.49 MCM. to 51.61 MCM. and the overflow was reduced from 543.18 MCM. to 296.33 MCM.

Department Water Resources Engineering Student's signature Thanachat S.

Field of study Water Resources Engineering Advisor's signature Tuantan Kitpaisalsakul

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากบุคคลและหน่วยต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิดมาโดยตลอด ทั้งยังให้การช่วยสนับสนุน ผลักดัน ในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการให้คำชี้แนะ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัมปนาท ภักดีกุล และสถาบันพัฒนาการชลประทานที่ถ่ายทอดความรู้ และให้คำแนะนำเรื่องGenetic Algorithms คุณณัฐวุฒิ เภสัชเวชกิจ คุณไพศาล ช่วยแท่น และ คุณอรอนงค์ วรรณราช ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และบุคลากรของภาคทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และการติดต่อประสานงานในเรื่องต่างๆ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ชาวแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ช่วยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ กรมชลประทานและโครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการทำวิทยานิพนธ์บางส่วน และขอขอบคุณสำนักชลประทานที่ 14 ที่ให้การสนับสนุนด้านต่างๆ มาด้วยดี

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณ บิดา มารดา และคนในครอบครัวของข้าพเจ้า เป็นอย่างยิ่งที่ให้โอกาส และเป็นกำลังใจที่ดีต่อข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 3

1.4 แนวทางและขั้นตอนการดำเนินการศึกษา..... 6

1.5 การศึกษาที่ผ่านมา 6

1.5.1 การศึกษาด้านอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ 6

1.5.2 การศึกษาด้าน Genetic Algorithms และเกณฑ์การบริหารอ่างฯ 9

บทที่ 2 พื้นที่ศึกษาและลักษณะโครงการ

2.1 สภาพพื้นที่ศึกษา..... 13

2.1.1 สภาพภูมิประเทศ..... 13

2.1.2 สภาพภูมิอากาศ..... 15

2.1.3 สภาพอุตุ-อุทกวิทยา..... 15

2.2 ลักษณะโครงการ..... 18

2.2.1 ความเป็นมาของโครงการ..... 18

2.2.2 ประโยชน์ของโครงการ..... 21

2.2.3 ลักษณะของโครงการอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์..... 22

2.2.4 ความต้องการใช้น้ำของโครงการ..... 25

2.2.5 โค้งเกณฑ์การจัดสรรน้ำ(Rule Curve)..... 27

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 3 ทฤษฎีที่ใช้

3.1 การวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ..... 28
3.2 หลักสมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ..... 28
3.3 ข้อมูลในการวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ..... 30
3.4 เกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Operating Rules)..... 31
3.5 หลักและวิธีการพัฒนาโค้งของเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ..... 32
3.5.1 หลักการในการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ... 32
3.5.2 วิธีการพัฒนาโค้งเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำ..... 33
3.6 การหาค่าความเหมาะสม..... 35
3.7 Genetic Algorithms..... 40
3.7.1 การใช้ GAs ในการแก้ปัญหาในการหาค่าความเหมาะสม... 41
3.7.2 การ Encoding ของ Chromosome..... 41
3.7.3 การดำเนินการของ GAs..... 43
3.7.4 Parameters ของ GAs..... 48

บทที่ 4 ข้อมูลที่ใช้และวิธีการดำเนินการศึกษา

4.1 การทบทวนความต้องการใช้น้ำของโครงการ..... 50
4.1.1 ความต้องการใช้น้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค และอุตสาหกรรม... 50
4.1.2 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน..... 51
4.1.3 ความต้องการใช้น้ำเพื่อรักษาสมดุลนิเวศวิทยา..... 53
4.2 การสร้างเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์..... 54
4.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วย GA 55
4.2.2 การพัฒนาโปรแกรมด้วยวิธี GA เพื่อหาเกณฑ์ปฏิบัติการปริมาณน้ำควบคุม..... 55
4.2.3 การสร้างเกณฑ์ปฏิบัติการควบคุมด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น..... 60
4.3 การประยุกต์ใช้เกณฑ์ปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นกับการบริหารอ่างเก็บน้ำ... 63

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 5 ผลการศึกษา

5.1 การพัฒนาโปรแกรมGA..... 64

5.1.1 การกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์..... 64

5.1.2 การพัฒนาโปรแกรม Genetic Algorithms ด้วยภาษาซี..... 66

5.1.3 การทดสอบโปรแกรม GAs..... 77

5.2 การหาเกณฑ์ปฏิบัติการรวมของปริมาณน้ำควบคุมอ่างเก็บน้ำ..... 85

5.3 การหาเกณฑ์ปฏิบัติการย่อยของปริมาณน้ำควบคุมอ่างเก็บน้ำ..... 90

5.4 การทดสอบการปฏิบัติการจริงของโครงการ เทียบกับ เกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ GA 103

5.5 การทดสอบเกณฑ์RC46 กับ เกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA..... 115

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา..... 121

6.2 ข้อเสนอแนะ 128

รายการอ้างอิง..... 129

ภาคผนวก..... 134

ภาคผนวก ก ข้อมูลการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำป่าสักชลสิทธิ์..... 135

ภาคผนวก ข ข้อมูลนำเข้าของโปรแกรมและการจัดเรียงข้อมูลลงโปรแกรม 138

ภาคผนวก ค โปรแกรมภาษาซี หาเกณฑ์การปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำด้วยวิธี Genetic Algorithms..... 149

ภาคผนวก ง Rule Curve ใน generation แรก และ generationสุดท้าย จากโปรแกรม GAs..... 170

ภาคผนวก จ ผลการศึกษา..... 181

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้โปรแกรม GA โดยภาษาซี..... 195

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 201

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำป่าสัก..... 18

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการระเหยสุทธิที่สถานีอุตุนิยมวิทยาบัวชุม..... 18

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆจากโครงการป่าสักฯ..... 25

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ชลประทานและความต้องการน้ำเฉลี่ยของโครงการชลประทานเดิม.. 52

ตารางที่ 4.2 แสดงการแบ่งช่วงพิสัยของประเภทปีน้ำ..... 61

ตารางที่ 5.1 ช่วงพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโปรแกรม.. 85

ตารางที่ 5.2 เกณฑ์ที่นำมาใช้จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโปรแกรมGA..... 85

ตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำรายเดือนจากอ่างด้วยเกณฑ์ปฏิบัติการรวม 87

ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณการขาดน้ำรายเดือนจากอ่างด้วยเกณฑ์ปฏิบัติการรวม... 88

ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณการไหลล้นรายเดือนจากอ่างด้วยเกณฑ์ปฏิบัติการรวม... 89

ตารางที่ 5.6 เกณฑ์ที่นำมาใช้จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจากโปรแกรมGAของทั้ง 5ช่วง 90

ตารางที่ 5.7 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำน้อย..... 92

ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างน้อย..... 93

ตารางที่ 5.9 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำปกติ..... 96

ตารางที่ 5.10 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก..... 97

ตารางที่ 5.11 ผลการคำนวณการปล่อยน้ำออกจากอ่างฯ ช่วงปีน้ำมาก..... 99

ตารางที่ 5.12 ผลการจำลองการวางแผนการปล่อยน้ำ ของเขื่อนป่าสักฯ จากเกณฑ์การปฏิบัติที่พัฒนาขึ้นด้วย GA..... 102

ตารางที่ 5.13 ปริมาณน้ำไหลลงอ่างฯ,ปริมาณการระบายน้ำในแต่ละปี และการคำนวณการระบายน้ำจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs..... 107

ตารางที่ 5.14 การคำนวณปริมาณน้ำท่วมจากการระบายน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เทียบกับการคำนวณปริมาณน้ำท่วมจากโปรแกรม GAs..... 109

ตารางที่ 5.15 การคำนวณปริมาณการขาดน้ำจากการระบายน้ำจริงของอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯ เทียบกับการคำนวณปริมาณการขาดน้ำจากโปรแกรม GAs..... 112

ตารางที่ 5.16 การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ RC46..... 116

ตารางที่ 5.16(ต่อ) การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ RC46..... 117

หน้า

ตารางที่ 5.17 การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA..... 118
ตารางที่ 5.17(ต่อ)การคำนวณหาการขาดน้ำและการไหลล้นอ่าง จากเกณฑ์ปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA..... 119

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ที่ตั้งลุ่มน้ำและพื้นที่ศึกษา..... 5
รูปที่ 2.1 ลุ่มน้ำป่าสัก และพื้นที่ศึกษา..... 14
รูปที่ 2.2 เส้นชั้นปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสัก..... 16
รูปที่ 2.3 เส้นชั้นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อหน่วยพื้นที่ในลุ่มน้ำป่าสัก..... 17
รูปที่ 2.4 โค้งแสดงความสัมพันธ์ระว่างระดับน้ำ-พื้นที่ผิวน้ำ-ความจุของอ่างฯเขื่อนป่าสักฯ 24
รูปที่ 2.5 พื้นที่ชลประทานโครงการเจ้าพระยาตะวันออกตอนล่าง และลุ่มน้ำป่าสัก..... 26
รูปที่ 2.6 เกณฑ์การกักเก็บน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์..... 27
รูปที่ 3.1 สมดุลของน้ำในอ่างเก็บน้ำ..... 29
รูปที่ 3.2 การพร่องน้ำในช่วงเริ่มต้นฤดูฝน..... 33
รูปที่ 3.3 การสำรองน้ำในช่วงฤดูแล้ง..... 34
รูปที่ 3.4 แผนผังลำดับขั้นของการหาค่าความเหมาะสม..... 36
รูปที่ 3.5 วิธีการหาค่าเหมาะสม..... 37
รูปที่ 3.6 Roulette Wheel ที่แสดงค่า Fitness ของทุก Chromosome..... 44
รูปที่ 3.7 ค่า Fitness ใน Roulette Wheel ก่อนการ Ranking..... 44
รูปที่ 3.8 ค่า Fitness ใน Roulette Wheel หลังการ Ranking..... 45
รูปที่ 3.9 รูปแบบของ crossover..... 47
รูปที่ 4.1 ลำดับการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบสมดุลน้ำ..... 58
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหลัก..... 67
รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการทำงานของ GAs..... 69
รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย Selection..... 70
รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย Crossover..... 71
รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อย Mutation..... 72
รูปที่ 5.6 จำนวนเดือนที่มีค่าการปล่อยน้ำออกจากอ่าง ฯ น้อยกว่าระบบนิเวศเมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เดิม..... 79
รูปที่ 5.7 จำนวนเดือนที่มีค่าการปล่อยน้ำออกจากอ่าง ฯ น้อยกว่าระบบนิเวศ เมื่อใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่มีการปรับแก้ด้วยตัวคูณถ่วงน้ำหนัก..... 79
รูปที่ 5.8 ผลการหาค่า Weight Factor(R1)ที่เหมาะสมในช่วง1,000–8,000 80
รูปที่ 5.9 ผลการหาค่า Weight Factor(R1)ที่เหมาะสมในช่วง4,000–6,000 80
รูปที่ 5.10 ผลการหาค่า Weight Factor(R2)ที่เหมาะสมในช่วง 50-500..... 81

หน้า

รูปที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Probability of Crossover..... 82
รูปที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Probability of Mutation..... 83
รูปที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Inchmeal..... 83
รูปที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของ Population Size..... 84
รูปที่5.15 ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ จากเกณฑ์ปฏิบัติการรวม.... 86
รูปที่ 5.16 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำน้อย 92
รูปที่ 5.17 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำน้อย..... 92
รูปที่ 5.18 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างน้อย..... 93
รูปที่ 5.19 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำค่อนข้างน้อย..... 93
รูปที่ 5.20 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำปกติ 95
รูปที่ 5.21 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำปกติ..... 95
รูปที่ 5.22 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำค่อนข้างมาก..... 97
รูปที่ 5.23 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำค่อนข้างมาก 97
รูปที่ 5.24 ผลการคำนวณปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ช่วงปีน้ำมาก 99
รูปที่ 5.25 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำ และความต้องการน้ำเฉลี่ย กรณีปีน้ำมาก..... 99
รูปที่ 5.26 ค่าเฉลี่ยการขาดน้ำ ทั้ง 5 ช่วง จากการใช้เกณฑ์ย่อย..... 101
รูปที่ 5.27 ค่าเฉลี่ยการปล่อยน้ำเกินความต้องการ ทั้ง 5 ช่วง จากการใช้เกณฑ์ย่อย 101
รูปที่ 5.28 การเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ย่อยทั้ง 5 รูปแบบ..... 101
รูปที่ 5.29 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA ปี พ.ศ. 2543..... 105
รูปที่ 5.30 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA ปี พ.ศ. 2544..... 105
รูปที่ 5.31 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA ปี พ.ศ. 2545..... 106
รูปที่ 5.32 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนป่าสักฯจริง กับเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA ปี พ.ศ. 2546..... 106

หน้า

รูปที่ 5.33 ปริมาณการระบายน้ำจริงของอ่างฯเขื่อนป่าสักฯ และผลการคำนวณการระบายน้ำจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA ในปี 2543..... 108
รูปที่ 5.34 ปริมาณการระบายน้ำจริงของอ่างฯเขื่อนป่าสักฯ และผลการคำนวณการระบายน้ำจากเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GA ในปี 2545..... 108
รูปที่ 5.35 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2543 จากการปฏิบัติการจริง กับปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs..... 112
รูปที่ 5.36 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2544 จากการปฏิบัติการจริง กับปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs..... 113
รูปที่ 5.37 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2545 จากการปฏิบัติการจริง กับปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs..... 113
รูปที่ 5.38 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำปี พ.ศ.2546 จากการปฏิบัติการจริง กับปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs..... 113
รูปที่ 5.39 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำเฉลี่ยจากการปฏิบัติการจริง กับ ปฏิบัติการด้วยเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นด้วย GAs..... 114
รูปที่ 5.40 ปริมาณน้ำควบคุมรายเดือนของเขื่อนป่าสักฯ ของเกณฑ์ RC46 และ GA 115
รูปที่ 5.41 เปรียบเทียบปริมาณการขาดน้ำรวมจากเกณฑ์การปฏิบัติการพัฒนาขึ้นด้วยGAกับเกณฑ์ RC46..... 120
รูปที่ 5.42 เปรียบเทียบปริมาณการไหลล้นอ่างรวมจากเกณฑ์การปฏิบัติการพัฒนาขึ้นด้วย GA กับเกณฑ์ RC46..... 120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย