

การประเมินความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาอุปกรณ์ FACTS และความคลุมเครือของโหลด



นายนิติ แซ่ลิ่ง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

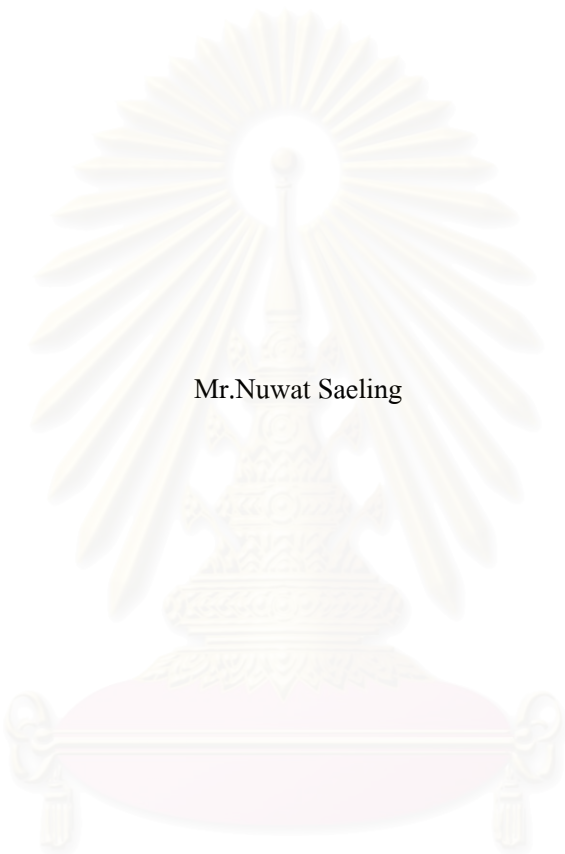
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TOTAL TRANSFER CAPABILITY EVALUATION CONSIDERING FACTS DEVICES AND LOAD
VAGUENESS



Mr.Nuwat Saeling

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาอุปกรณ์
FACTS และความคลุมเครือของโหลด

โดย

นายนิติ แซ่ลิ่ง

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

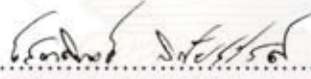
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสคติพงษ์ พิชัยสวัสดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

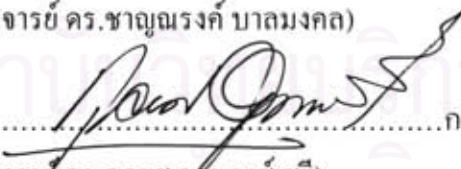

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริกร ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสคติพงษ์ พิชัยสวัสดิ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี)

นวัตน์ แซ่ลิ่ง : การประเมินความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาอุปกรณ์ FACTS และ ความคลุมเครือของโหลด. (TOTAL TRANSFER CAPABILITY EVALUATION CONSIDERING FACTS DEVICES AND LOAD VAGUENESS) อ. ที่ปรึกษา: ศศ.ดร. โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์ 114 หน้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงวิธีการใช้เงินดิกอัลกอริทึมในการหาตำแหน่ง และค่าพารามิเตอร์ของ อุปกรณ์ TCSCs และ SVCs โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม และเปรียบเทียบผลที่ได้กับ วิธีการแบบดั้งเดิม นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบความคลุมเครือของ โหลดที่มีต่อค่า กำลังส่งรวม โดยระบบทดสอบที่ใช้คือ ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) ซึ่งจุดเด่นของตัวเงินดิกอัลกอริทึมคือ การค้นหาตัวแปรที่มีความเหมาะสมผ่าน กระบวนการคัดสรรแทนการปรับค่าโดยตรงตามกรรมวิธีแบบดั้งเดิม ผลจากการทดสอบพบว่าวิธีการที่ ถูกนำเสนอสามารถคำนวณผลได้ใกล้เคียงเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิมและยังสามารถแก้ปัญหาตัวแปร ที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้นได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต..... ๑๒๓ ๑๒๓๔
สาขาวิชา..... วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ๑๒๓๔๕๖๗๘๙๐
ปีการศึกษา..... 2550.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4870352221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: TOTAL TRANSFER CAPABILITY / GENETICS ALGORISTHMS / REPEATED POWER FLOW / FLEXIBLE AC TRANSMISSION SYSTEM

NUWAT SAELING : (TOTAL TRANSFER CAPABILITY EVALUATION CONSIDERING FACTS DEVICES AND LOAD VAGUENESS : ASST.PROF.SOTDHIPONG PHICHASAWAT, PH.D., 114 pp.

This thesis proposes a method using Genetic Algorithms to find location and parameters of TCSCs and SVCs that affect to total transfer capability improvement compared with the conventional method. Moreover, this thesis considers load vagueness affecting to total transfer capability. The IEEE 30 bus and test system of Thailand (Southern Thailand) are applied. The results from the proposed method are obtained and analyzed compared with conventional method. The proposed method can solve for the complex parameter.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Electrical Engineering..... Student's..... *นูวต สaeling* 11631
Field of study..... Electrical Engineering..... Advisor's..... *สมชาย สอติพิชญ์*
Academic year..... 2007..... Co-advisor's.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ โดยเป็นประโยชน์กับการนำเสนอหัวข้อวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล และอาจารย์ ดร.กฤษศ อุดมวงศ์เสรี ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไข และให้คำแนะนำเพิ่มเติมจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และ คุณแม่ ที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อน พี่ น้อง ทุกคนที่เป็นส่วนในการผลักดันให้เกิดความสำเร็จ และลุล่วงไปได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 เนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	3
2. หลักการพื้นฐานของค่ากำลังส่งรวมและการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ FACTS.....	4
2.1 นิยามของ TTC และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 การคำนวณค่า TTC ด้วยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ	6
2.3 อุปกรณ์ FACTS.....	8
2.3.1 Thyristor Controlled Series Compensation: TCSC	8
2.3.2 Static VAR Compensator: SVC	9
2.4 สรุป	14
3. หลักการพื้นฐานของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	15
3.1 แนวคิดของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	15
3.2 ส่วนประกอบของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	16
3.2.1 การลงรหัสและถอดรหัส (Coding and Decoding).....	16
3.2.2 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial Population).....	17
3.2.3 การประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluation).....	17
3.2.4 การดำเนินการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithms).....	17
3.2.5 เงื่อนไขการหยุด.....	20
3.3 ทฤษฎีบทสตีมา.....	22

บทที่	หน้า
3.4 การปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึม.....	26
3.4.1 ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ (Uniform Crossover)	26
3.4.2 อีลิทิสซึม(Elitism)	27
3.5 การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมร่วมกับ การคำนวณเพาเวอร์ฟลิวแบบซ้ำ.....	27
3.6 สรุป	32
4. หลักการพื้นฐานในการจำลองความคลุมเครือโดยวิธีการฟัซซี่	33
4.1 การนำเสนอฟัซซี่	33
4.2 ทฤษฎีฟัซซี่เซต(Fuzzy Set Theorem)	34
4.3 $\alpha - Cut$ หรือ $\alpha - level$ ของฟัซซี่เซต	37
4.4 คุณสมบัติความเป็นConvex(Convexity).....	37
4.5 ตัวเลขฟัซซี่(Fuzzy Number).....	38
4.6 Defuzzification.....	40
4.6.1 วิธีจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Center of Area Method)	40
4.6.2 วิธีศูนย์กลางของค่ามากที่สุด (Center of Maxima Method).....	41
4.6.3 วิธีค่ากลางของค่ามากที่สุด (Mean of Maxima Method).....	41
4.7 ตรรกแบบฟัซซี่และระบบการวินิจฉัยแบบฟัซซี่ (Fuzzy Logic and Fuzzy Inference System).....	42
4.7.1 ตัวดำเนินการเชิงตรรก (Logic Operation)	43
4.7.2 ระบบวินิจฉัยแบบฟัซซี่ (Fuzzy Inference System : FIS).....	45
4.8 ความคลุมเครือในแบบจำลองโหนด	50
4.8.1 การวิเคราะห์ผลของความคลุมเครือของโหนดด้วยทฤษฎีฟัซซี่เซต	51
4.9 สรุป	54
5. ผลการคำนวณค่ากำลังส่งรวมโดยวิธีการคำนวณเพาเวอร์ฟลิวแบบซ้ำ.....	55
5.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	56
5.2 ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)	59
5.3 สรุป	63
6. การวิเคราะห์ผลกระทบของอุปกรณ์ FACTS ที่มีต่อค่ากำลังส่งรวมโดยวิธี GA	64
6.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	64

บทที่	หน้า
6.2 ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)	66
6.3 สรุป	71
7. การพิจารณาผลความคลุมเครือที่มีต่อค่ากำลังส่งรวม	72
7.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	73
7.1.1 การจำลองข้อมูลโหลดเป็นแบบที่ 1	73
7.1.2 การจำลองข้อมูลโหลดเป็นแบบที่ 2	75
7.1.3 การจำลองข้อมูลโหลดเป็นแบบที่ 3	77
7.2 สรุป	80
8. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	81
8.1 สรุปผลงานวิจัย	81
8.2 ข้อเสนอแนะสำหรับศึกษาและพัฒนาต่อไป	82
รายการอ้างอิง	83
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก	86
ภาคผนวก ข	96
ภาคผนวก ค	106
ภาคผนวก ง	110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	114

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างการหาค่าความเหมาะสม	18
4.1 การเปรียบเทียบตารางความจริงของตัวดำเนินการเชิงตรรกพื้นฐานแบบดั้งเดิม กับตัวดำเนินการเชิงตรรกพื้นฐานแบบฟัซซี่.....	44
5.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	57
5.2 การหาค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้ง TCSC (กรณีเหตุขัดข้อง)	57
5.3 การหาค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้ง SVC (กรณีเหตุขัดข้อง)	58
5.4 การเปรียบเทียบผลการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS	58
5.5 ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)	61
5.6 การหาค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้ง TCSC (กรณีเหตุขัดข้อง)	61
5.7 การหาค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้ง SVC (กรณีเหตุขัดข้อง)	61
5.8 การเปรียบเทียบผลการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS	62
6.1 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA	64
6.2 การเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการ แบบดั้งเดิมของระบบทดสอบ IEEE 30 BUS (กรณีเหตุขัดข้อง).....	65
6.3 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA	65
6.4 การเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการ แบบดั้งเดิมของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)	66
6.5 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC ของระบบทดสอบ ประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA	66
6.6 การเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการ แบบดั้งเดิมของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)	67
6.7 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA	67
6.8 การเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการ แบบดั้งเดิมของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)	67

ตารางที่	หน้า
6.9 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC จำนวนต่างๆโดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	68
6.10 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวนต่างๆโดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	68
6.11 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC จำนวนต่างๆโดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส).....	69
6.12 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวนต่างๆโดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส).....	69
7.1 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-20 % (TTC-max).....	73
7.2 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-20 % (TTC-min).....	73
7.3 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 20-10 % (TTC-max).....	75
7.4 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 20-10 % (TTC-min).....	76
7.5 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 % (TTC-max).....	77
7.6 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 % (TTC-min).....	78
7.7 การเปรียบเทียบการจำลองข้อมูลโหลดที่มีการกระจายของข้อมูลแบบต่างๆ	79
ก.1 ข้อมูล โหลด.....	86
ก.2 ข้อมูลกำลังการผลิต	87
ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า.....	87
ก.4 การแก้ไขข้อมูลโหลดระบบ IEEE 30 บัส	89
ก.5 การแก้ไขข้อมูลกำลังการผลิตระบบ IEEE 30 บัส	91
ก.6 การแก้ไขข้อมูลสายส่งไฟฟ้าระบบ IEEE 30 บัส.....	91
ก.7.1 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง TCSC (กรณีเหตุขัดข้อง).....	93
ก.7.2 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง SVC (กรณีเหตุขัดข้อง)	94
ข.1 ข้อมูล โหลด.....	96
ข.2 ข้อมูลกำลังการผลิต	98
ข.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า.....	98
ข.4.1 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง TCSC (กรณีเหตุขัดข้อง).....	102
ข.4.2 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง SVC (กรณีเหตุขัดข้อง)	104
ค.1 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (2 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง).....	106

ตารางที่	หน้า
ค.2 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (3 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง).....	106
ค.3 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC จำนวน 3 ตัว โดยวิธีการถ่ายทอดทางฟังก์ชันของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส	107
ค.4 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (2 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง).....	107
ค.5 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (3 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง).....	108
ค.6 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวน 3 ตัว โดยวิธีการถ่ายทอดทางฟังก์ชันของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส.....	109
ง.1 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (2 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง).....	110
ง.2 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (3 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง).....	110
ง.3 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางฟังก์ชันของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส).....	111
ง.4 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (2 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง).....	111
ง.5 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (3 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง).....	112
ง.6 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวน 3 ตัว โดยวิธีการถ่ายทอดทางฟังก์ชันของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส).....	113

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1	แบบจำลองของอุปกรณ์ TCSC 8
2.2	แบบจำลองของอุปกรณ์ SVC 10
2.3	การเพิ่มความละเอียดของคำตอบ..... 12
2.4	แผนภูมิการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์แบบซ้ำ 13
3.1	การรีโพรดักชั่น..... 18
3.2	การครอสโอเวอร์..... 19
3.3	การมีเวทชั้น 19
3.4	ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม..... 21
3.5	ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์..... 26
3.6	แผนภูมิของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม 31
4.1	การเปรียบเทียบระหว่างลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม (Crisp Set) และ ฟัซซีเซต..... 35
4.2	ลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม และฟัซซีเซตตามตัวอย่าง 4.1..... 36
4.3	ลักษณะความเป็น Convex ของฟัซซีเซต และลักษณะของฟัซซีเซตที่เป็น Normalize 38
4.4	ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ 39
4.5	ตัวเลขฟัซซีแบบอื่นๆ ที่ใช้..... 40
4.6	การเชื่อมโยงจากกลุ่มของค่าอินพุตไปยังกลุ่มค่าเอาต์พุตโดยระบบ FIS 42
4.7	ตัวอย่างของการกำหนดค่าของตัวแปรเชิงภาษา “ความเร็ว” 43
4.8	การเปรียบเทียบระหว่างตัวดำเนินการเชิงตรรกแบบฟัซซีและแบบดั้งเดิม 44
4.9	การทำ Fuzzification กับตัวแปรอินพุต 46
4.10	การดำเนินการทางตรรกแบบฟัซซีตามกฎ “If-then” ที่กำหนดไว้..... 47
4.11	การเชื่อมโยงจากส่วนของ“เหตุ” ไปยังส่วนของ “ผล” ตามกฎที่กำหนดขึ้น 48
4.12	การรวม (Aggregation) ผลลัพธ์ที่ได้จากทุกๆ กฎเข้าด้วยกัน 49
4.13	การทำ Defuzzification..... 49
4.14	กระบวนการคำนวณค่าของระบบ FIS ที่มี m กฎ n อินพุต และ 1 เอาต์พุต..... 50
4.15	การวิเคราะห์ความคลุมเครือของโหนดโดยฟัซซีเซตร่วมกับการคำนวณ เพาเวอร์โฟลว์แบบซ้ำ 53
5.1	ระบบทดสอบ IEEE 30 BUS 56
5.2	ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 BUS) 60

รูปที่	หน้า
7.1 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-20 %	75
7.2 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 20-10 %	77
7.3 การจำลองข้อมูลโหลดแบบ สามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 %	79



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการเติบโตทางเศรษฐกิจ และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทำให้ความต้องการในการบริโภคหรือความต้องการในการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้ระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมต้องแบกรับภาระมากขึ้นหากแต่จะทำการต่อเติม หรือการปรับปรุงจำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น เงินลงทุน สถานที่ ระยะเวลา และถ้ายังเป็น โครงการขนาดใหญ่อาจต้องพิจารณาถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วย แต่หากไม่ทำการแก้ไขปรับปรุงระบบส่งกำลังไฟฟ้าอาจจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาของแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงค่าสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือค่ากำลังส่งรวม โดยการใช้อุปกรณ์ FACTS

การปรับปรุงค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือค่ากำลังส่งรวม โดยการใช้ อุปกรณ์ FACTS ก็หมายถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าด้วย ซึ่งจะอาศัยผลต่างของค่าความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของ ระบบก่อนหน้าที่จะติดตั้ง และผลหลังจากการติดตั้ง อุปกรณ์แล้วถ้าผลหลังจากการติดตั้งยิ่งมากก็เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้านั้นๆ แต่เนื่องจากปัญหาค่าความหลากหลายของตัวแปรที่ต้องการมาจากหลายส่วนทั้งที่มาจากของระบบส่งกำลังไฟฟ้า และจากอุปกรณ์ FACTS เอง ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกใช้กระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมในการจัดการกับตัวแปรต่างๆ และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องจึงจำเป็นต้องทำการคำนวณค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าแบบวิธีการคำนวณ โหลด โฟลว์จำกัดควบคู่กันไปด้วย ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นถูกนำไปใช้ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และระบบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

ส่วนการคำนวณค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มีการเพิ่มส่วนของการพิจารณาผล ความคลุมเครือของการจำลองข้อมูล โหลด ที่ส่งผลต่อค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยการประยุกต์ใช้หลักการของฟัซซีเซตในการจำลองความคลุมเครือ และการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์แบบซ้ำ เพื่อใช้ในการคำนวณค่ากำลังส่งรวมดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการหาค่ากำลังส่งรวม
2. ศึกษาการหาค่าตำแหน่งและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ที่มีผลต่อการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม
3. ศึกษาความคลุมเครือของข้อมูล โหลดที่มีผลในการหาค่ากำลังส่งรวม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พิจารณาความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือค่ากำลังส่งรวม (Total transfer Capability: TTC) ระหว่างบัสต่อบัส
2. กำหนดแบบจำลอง โหลดแบบปรกติ และแบบคิดผลของความคลุมเครือของโหลด
3. หาค่าตำแหน่งและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ในระบบด้วยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม
4. ขีดจำกัดในระบบไฟฟ้ากำลังที่พิจารณาคือ เงื่อนไขค่าพิกัดของสายส่ง (Thermal Limit) เงื่อนไขพิกัดขนาดแรงดัน (Voltage Limit) และเงื่อนไขพิกัดกำลังการผลิตสูงสุด (Generator Limit)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการและนิยามพื้นฐานของการหาค่ากำลังส่งรวม
2. ศึกษาการคำนวณค่ากำลังส่งรวมด้วยวิธีการแบบต่างๆ
3. ศึกษาถึงผลกระทบของการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ที่มีผลต่อความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า
4. ศึกษาวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม
5. ศึกษาการจำลองความคลุมเครือของโหลด โดยใช้หลักการพื้นฐานของทฤษฎีฟัซซีเซต

1.5 เนื้อหาวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการปรับปรุงค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยการใช้อุปกรณ์ FACTS ซึ่งจะอาศัยกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมในการหา ตำแหน่งค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS และการจำลองสายส่งหลุด เพื่อใช้ในการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม และวิเคราะห์ผลของการจำลองข้อมูลโหนดที่มีความคลุมเครือโดยอาศัยหลักการประยุกต์ใช้ฟัซซีเซต ในการจำลองความคลุมเครือแบบต่างๆ เพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อค่ากำลังส่งรวม

บทที่ 2 กล่าวถึงนิยามพื้นฐานของค่ากำลังส่งรวม รวมถึงขีดจำกัดต่างๆ แนวทางในการคำนวณ และการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ FACTS ร่วมกับการคำนวณหาค่ากำลังส่งรวม

บทที่ 3 กล่าวถึงหลักการพื้นฐานของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบพื้นฐาน รวมถึง การปรับปรุงเพิ่มเติมกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเพื่อเพิ่ม โอกาสในการคัดเลือกกลุ่มประชากร ที่มีค่าความเหมาะสมยิ่งขึ้น

บทที่ 4 กล่าวถึงหลักการพื้นฐานในการจำลองคลุมเครือ โดยใช้ฟัซซีเซต ซึ่งมีการจำลองความคลุมเครือหลายๆแบบ เพื่อ ดูถึงผลกระทบความคลุมเครือของ โหนดที่ส่งผลต่อค่ากำลังส่งรวม

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการคำนวณค่ากำลังส่งรวม โดยวิธีการคำนวณเพาเวอร์ฟลิวแบบดั้งเดิม ซึ่ง ใช้ในระบบทดสอบ 2 ระบบคือ ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

บทที่ 6 กล่าวถึงผลการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม ด้วยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม โดยการหา ตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS

บทที่ 7 กล่าวถึงผลการจำลองความคลุมเครือของข้อมูล โหนดที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อค่ากำลังส่งรวม

บทที่ 8 กล่าวถึงการสรุปผลและข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาวิทยานิพนธ์ในลำดับถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานของค่ากำลังส่งรวมและการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ FACTS

2.1 นิยามของ TTC และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง

ค่ากำลังส่งรวม หรือ TTC [1-3] (Total Transfer Capability: TTC) คือ ปริมาณที่บ่งบอกถึงความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบส่งภายใต้ขีดจำกัดต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้ากำลัง อย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์จำนวนมาก ดังนั้นจึงคิดผลของการชำรุดของอุปกรณ์ ทำให้การกำหนดค่ากำลังส่งรวม หรือ ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจะคิดผลจากกรณีต่ำสุด ซึ่งขีดจำกัดของระบบส่งกำลังไฟฟ้าประกอบด้วย

1. เงื่อนไขอุณหภูมิ กำหนดจากปริมาณของกระแสไฟฟ้ามากที่สุดที่สามารถไหลในสายส่งหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด ก่อนที่จะเสียหายอย่างถาวรด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปกำหนดโดยขนาดกระแสหรือค่าพิคก MVA ของสายส่ง
2. เงื่อนไขขนาดแรงดันไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบจะต้องรักษาไว้ภายใต้ช่วงที่ยอมรับได้ เช่น ขนาดแรงดันต่ำสุดสามารถกำหนดจากการส่งกำลังไฟฟ้ามากที่สุดที่ยังไม่เกิดอันตรายต่อระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ของผู้ใช้โดยที่หากไม่สามารถรักษาระดับแรงดันได้ผลก็คือเกิดการพังทลายของแรงดันซึ่งสามารถส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าดับบางส่วนหรือทั้งระบบไฟฟ้า
3. เงื่อนไขขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในที่นี้กำหนดว่าค่ากำลังจริงที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องต้องมีค่าไม่เกินค่าพิคกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ
4. เงื่อนไขทางด้านเสถียรภาพ ระบบต้องสามารถทนต่อการรบกวนในช่วง Transient และ Dynamic ได้ (เวลาอาจอยู่ในหน่วย 1 ใน 1000 วินาที หรือ อาจเป็นหลายวินาที) ในกรณีปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องที่ต่ออยู่กับระบบจะทำงานที่ความถี่เดียวกัน แต่เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเริ่มแกว่งเมื่อเทียบกับเครื่องอื่นๆ ซึ่งยังทำงานอยู่ในสภาวะปกติสำหรับระบบที่มีเสถียรภาพนั้นการแกว่งดังกล่าวจะหายไปและจุดทำงานก็จะเคลื่อนตัวไปสู่จุดทำงานใหม่ที่มีเสถียรภาพ ในกรณีที่ระบบไม่สามารถเคลื่อนตัวไปสู่จุดที่มีเสถียรภาพจุดใหม่ได้ทันแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจสูญเสีย Synchronism ได้จากสาเหตุนี้อาจทำให้ระบบทั้งหมดหรือบางส่วนไม่มีเสถียรภาพได้ ผลอีกอย่างของการที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่มี

เสถียรภาพนั้นก็คือ อาจทำให้อุปกรณ์เสียหายและผลนี้อาจทำให้ต้องตัดไฟที่จ่ายให้กับผู้ใช้เป็นวงกว้างด้วย

แต่เนื่องจากการคำนวณค่าความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเป็นการพิจารณาในสถานะอยู่ตัว ดังนั้นเงื่อนไขทางด้านเสถียรภาพของระบบจึงถูกละเลยไปคงไว้แค่เงื่อนไขอุณหภูมิของสายส่ง เงื่อนไขขนาดแรงดันไฟฟ้า และเงื่อนไขขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น ค่ากำลังส่งรวมจะคิดจากกรณีที่เข้มงวดมากที่สุด คือ TTC เท่ากับค่าต่ำสุดของ (เงื่อนไขอุณหภูมิ, เงื่อนไขขนาดแรงดันไฟฟ้า, เงื่อนไขขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, กรณีอุปกรณ์เสียหาย (สายส่งหลุด 1 เส้น))

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการคำนวณค่ากำลังส่งรวมทำได้โดยอาศัย 3 แนวทางหลัก คือ

1. วิธีการที่อาศัยการคำนวณเพาเวอร์ฟลว์ เป็นพื้นฐาน วิธีการต่างๆ ในแนวทางนี้จะทำการคำนวณเพาเวอร์ฟลว์ ณ แต่ละระดับของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า พร้อมทั้งตรวจสอบเงื่อนไขที่กำหนดหากพบว่ายังไม่เกิดการขัดแย้งกับเงื่อนไขก็จะทำการเพิ่มระดับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งผลตอบที่ได้รับขัดแย้งกับเงื่อนไขขึ้น ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าก่อนที่จะเกิดการขัดแย้งกับเงื่อนไขจะถูกกำหนดเป็นค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งการคำนวณที่นิยมใช้คือ การคำนวณเพาเวอร์ฟลว์แบบซ้ำ หรือ Repeated Power Flow (RPF) [4], [5] และการคำนวณเพาเวอร์ฟลว์แบบต่อเนื่อง หรือ Continuation Power Flow (CPF) [6]
2. วิธีการหาค่าเหมาะสม หรือ การ Optimization วิธีในกลุ่มนี้จะทำการจัดรูปแบบปัญหาให้อยู่ในรูปแบบปัญหาค่าสูงสุด โดยมีสมการเงื่อนไขคือสมการเพาเวอร์ฟลว์ และ เงื่อนไขในการคำนวณการรวมไว้ในส่วนของสมการเงื่อนไข จากนั้นจึงเริ่มต้นคำนวณหาคำตอบ ตัวอย่างของวิธีในกลุ่มนี้ เช่น Genetic Algorithm [7] เป็นต้น ข้อดีของวิธีในกลุ่มนี้คือ คำตอบที่ได้มีความแม่นยำสูงสำหรับข้อเสียคือ เวลาในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นมากเมื่อระบบมีขนาดใหญ่มากขึ้น
3. วิธีการคำนวณคำตอบโดยการประมาณ วิธีในกลุ่มนี้โดยทั่วไปจะใช้การประมาณแบบเส้นตรง [8], [9] เป็นหลัก วิธีในกลุ่มนี้มีข้อดี คือสามารถคำนวณได้รวดเร็ว อย่างไรก็ตาม คำตอบที่ได้จากวิธีการในกลุ่มนี้จะเป็นค่าโดยประมาณดังนั้นการนำคำตอบไปใช้จะต้องเลือกความละเอียดให้เหมาะสมกับความจำเป็นของงานด้วย

จากที่กล่าวมาข้างต้นเราได้พบกับวิธีการคำนวณค่ากำลังส่งรวม หรือ ค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้า มีด้วยกันหลายวิธี แต่งานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้ศึกษาถึงวิธีการวิเคราะห์ค่ากำลังส่งรวม แต่ศึกษาถึงการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมแทน ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจึงเลือกใช้วิธีการที่อาศัยการ

คำนวณเพาเวอร์โพล์เป็นพื้นฐาน และวิธีใช้ที่อาศัยการคำนวณเพาเวอร์โพล์เป็นพื้นฐานที่นิยมมี 2 วิธี คือ การคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบต่อเนื่อง และการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ ซึ่งการนำไปใช้ต่างกัน โดยที่การคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบต่อเนื่อง จะนิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงเลือกใช้การคำนวณค่ากำลังส่งรวม โดยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ (RPF)

2.2 การคำนวณค่า TTC ด้วยวิธีการการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ

การคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำสามารถใช้คำนวณค่ากำลังส่งรวม โดยหลักการที่สำคัญคือ การเพิ่มโหลดไปจนกระทั่งค่ากำลังส่งรวมสูงสุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด [4] ซึ่งถูกประยุกต์ใช้การคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบทั่วไป

สมการการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบทั่วไป

$$P_{Gi} - P_{Di} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \quad (2.1)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \quad (2.2)$$

เงื่อนไขจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (2.3)$$

$$|U_i|_{\min} \leq U_i \leq |U_i|_{\max} \quad (2.4)$$

$$|S_{ij}| \leq |S_{ij}|_{\max} \quad (2.5)$$

การประยุกต์การใช้วิธี RPF ร่วมกับการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบทั่วไป

$$P_{Gi} = P_{Gi}^{\circ} (1 + \lambda) \quad (2.6)$$

$$P_{Di} = P_{Di}^{\circ} (1 + \lambda) \quad (2.7)$$

$$Q_{Di} = Q_{Di}^{\circ} (1 + \lambda) \quad (2.8)$$

โดยที่

P_{G_i}, Q_{G_i} : กำลังงานจริงและกำลังงานรีแอกทีฟที่ถูกจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

P_{D_i}, Q_{D_i} : กำลังงานจริงและกำลังงานรีแอกทีฟที่ถูกจ่ายให้กับโหลดที่บัส i

n : จำนวนบัสทั้งระบบ

$|U_i|$: ขนาดแรงดันที่บัส i

G_{ij}, B_{ij} : ส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าอิมพีแดนซ์ ณ ตำแหน่ง i, j ในจาร์โคเบียนเมตริกซ์

δ_{ij} : มุมของแรงดันที่บัส i และบัส j

S_{ij} : กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลผ่าน บัส i และบัส j

$|U_i|_{\min}$: ขนาดแรงดันต่ำสุดที่บัส i

$|U_i|_{\max}$: ขนาดแรงดันสูงสุดที่บัส i

$|S_{ij}|_{\max}$: ขนาดของกำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุดที่สายส่งระหว่างบัส i และบัส j ทนได้

λ : ตัวคูณ โหลด (Load Parameter)

$P_{G_i}^{\min}$: กำลังงานจริงที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดน้อยที่สุด

$P_{G_i}^{\max}$: กำลังงานจริงที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดมากที่สุด

จากการเพิ่มขึ้นของ โหลดตาม (2.7-2.8) และการเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตตาม (2.6) แทนกลับตาม (2.1)

และ (2.2) โดยการทำการเพิ่ม λ จนกระทั่งค่าถึงขีดจำกัด

ดังนั้นสามารถคำนวณค่า

$$TTC = \sum_{i=1}^{N_SK} P_{D_i}(\lambda_{\max}) - \sum_{i=1}^{N_SK} P_{D_i}^{\circ} \quad (2.9)$$

โดยที่

$P_{D_i}(\lambda_{\max})$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i เมื่อ $\lambda = \lambda_{\max}$

$P_{D_i}^{\circ}$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i เมื่อ $\lambda = 0$

N_SK คือ จำนวนบัสในพื้นที่รับโหลด

เมื่อกำหนดบัสต้นทางให้เป็น Slack Bus จึงทำเลขการเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตตาม (2.6) และใน

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการคำนวณค่ากำลังส่งรวมแบบบัสต่อบัส ดังนั้นในฟังก์ชันเป้าหมายตาม (2.9)

จำนวนบัสในพื้นที่รับโหลดจึงมีเพียงบัสเดียวเท่านั้น

2.3 อุปกรณ์ FACTS

Flexible AC Transmission System (FACTS) คือ เทคโนโลยีซึ่งเกิดจากความก้าวหน้าทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยมีแนวคิดที่ว่า การนำอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้ให้ในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีความสามารถมากขึ้น [10], [11] โดยสามารถ

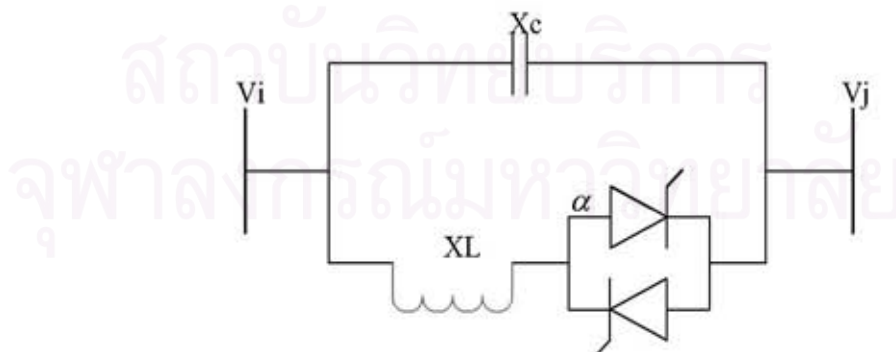
- ควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าไปในทิศทางที่ต้องการ
- เพิ่มความสามารถในการส่ง โดยพยายามที่จะทำให้ความสามารถของสายส่งเข้าใกล้ขีดจำกัดด้านการทนความร้อนสูงสุด (Thermal Limit)

การนำไปใช้งานของอุปกรณ์ FACTS สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. การชดเชยแบบอนุกรม (Series compensation) ตัวอย่างเช่น TCSC
2. การชดเชยแบบขนาน (Shunt compensation) ตัวอย่างเช่น SVC และ STATCOM
3. การควบคุมมุมเฟส (Phase angle control) ตัวอย่างเช่น TCPAR

2.3.1 Thyristor Controlled Series Compensation: TCSC

TCSC คืออุปกรณ์ FACTS ที่ใช้หลักการของการชดเชยแบบอนุกรม (Series Compensation) ซึ่งก็คือการลดผลของความเหนี่ยวนำในสายส่งนั่นเอง โดย TCSC ประกอบด้วย ชุดตัวเก็บประจุ (Capacitor bank) และส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังกับความเหนี่ยวนำซึ่งต่อขนานกับชุดตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเห็นได้ชัดว่าคือวงจรขนานของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดย X_{TCSC} ถูกควบคุมขนาดจากมุมจุดชนวน (α) ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของอุปกรณ์ TCSC

โดยที่

α = มุมจุดชนวนของ Thyristor

$$X_L(\alpha) = X_L \left(\frac{\pi}{\pi - 2\alpha - \sin(\alpha)} \right), X_L \leq X_L(\alpha) \leq \infty \quad (2.10)$$

ดังนั้น

$$X_{TCSC}(\alpha) = \frac{X_C X_L(\alpha)}{X_L(\alpha) - X_C} \quad (2.11)$$

การจำลองรูปแบบของ TCSC จะถูกแทนด้วย ค่ารีแอคแตนซ์ปรับค่าได้ ซึ่งการกำหนดความสามารถในการปรับจะขึ้นกับขีดจำกัดของตัว TCSC เอง ส่วนในงานวิจัยฉบับนี้จะทำการกำหนดช่วงการปรับ อยู่ในช่วง -0.04 ถึง 0.04 pu. และเพื่อความสะดวกในนำไปคำนวณ ดังนั้นในทดสอบจึงละเลยค่ามุมจุดชนวนของ Thyristor

2.3.2 Static VAR Compensator: SVC

SVC คืออุปกรณ์ FACTS ที่ใช้หลักการของ การชดเชยแบบขนาน (Shunt compensator) ซึ่งมีด้วยกันหลายแบบทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะการควบคุมของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ที่นิยมใช้ในการควบคุมขนาดแรงดัน ไฟฟ้ามากที่สุดคือ SVC ชนิดที่ตัวเก็บประจุค่าคงที่ต่อขนานกับความเหนี่ยวนำที่ถูกควบคุมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เรียกว่า FCTCR (Fixed-Capacitor and Thyristor Controlled Reactor) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

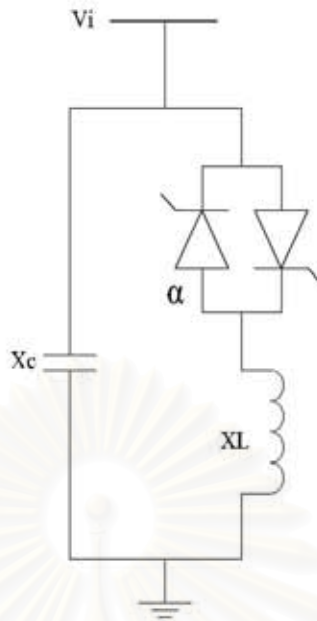
โดยที่

$$X_{Leq} = \frac{\pi X_L}{2(\pi - \alpha) - \sin(2\alpha)} \quad (2.12)$$

ดังนั้น

$$X_{SVC} = \frac{X_C X_L}{\frac{X_C}{\pi} [2(\pi - \alpha) - \sin(2\alpha)] - X_L} \quad (2.13)$$

α = มุมจุดชนวนของ Thyristor



รูปที่ 2.2 แบบจำลองของอุปกรณ์ SVC

การจำลองรูปแบบของ SVC จะถูกแทนด้วยเครื่องกำเนิดที่สามารถรับและจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟโดยค่าความสามารถในการรับและจ่ายกำลังไฟฟ้จะขึ้นกับขีดจำกัดของ SVC เพื่อให้ง่ายกับการทดสอบกำหนดให้สามารถรับและจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟมีช่วงระหว่าง 0 ถึง 100 MVAR โดยกำหนดให้กำลังงานจริงมีค่าเท่ากับศูนย์ ละเลยค่ารีแอกแตนซ์และติดตั้ง SVC ที่ PQ บัสเท่านั้น

เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ในระบบก็ทำการประยุกต์กับการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์แบบทั่วไป โดยแบ่ง เป็น 2 กรณี

1. ติดตั้ง TCSC ในระบบ

$$P_G - P_D - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij}(X_{TCSC}) \cos \delta_{ij} + B_{ij}(X_{TCSC}) \sin \delta_{ij}) = 0 \quad (2.14)$$

$$Q_G - Q_D - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij}(X_{TCSC}) \sin \delta_{ij} - B_{ij}(X_{TCSC}) \cos \delta_{ij}) = 0 \quad (2.15)$$

โดยที่

X_{TCSC} : ค่าอิมพีแดนซ์ของ TCSC

$G_{ij}(X_{TCSC}), B_{ij}(X_{TCSC})$: ส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าอิมพีแดนซ์เมื่อมีการติดตั้ง TCSC

2. ติดตั้ง SVC ในระบบ

$$P_{Gr} - P_{Dr} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij}(X_{SVC}) \cos \delta_{ij} + B_{ij}(X_{SVC}) \sin \delta_{ij}) = 0 \quad (2.16)$$

$$Q_{Gr} - Q_{Dr} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij}(X_{SVC}) \sin \delta_{ij} - B_{ij}(X_{SVC}) \cos \delta_{ij}) = 0 \quad (2.17)$$

โดยที่

$$P_{SVC} = 0$$

X_{SVC} : ค่าอิมพีแดนซ์ของ SVC

$G_{ij}(X_{SVC}), B_{ij}(X_{SVC})$: ส่วนจริงและส่วนจินตภาพของค่าอิมพีแดนซ์เมื่อมีการติดตั้ง SVC

โดยการจำลอง SVC ที่นี้ได้ละเลยค่าอิมพีแดนซ์ดังนั้น การจำลอง SVC ลงในการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ตาม (2.16-2.17) จึงถูกละเลยด้วย แต่ SVC ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นเครื่องกำเนิดที่สามารถรับและจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแทน

กระบวนการหาค่ากำลังส่งรวมร่วมกับอุปกรณ์ FACTS มีขั้นตอนดังนี้

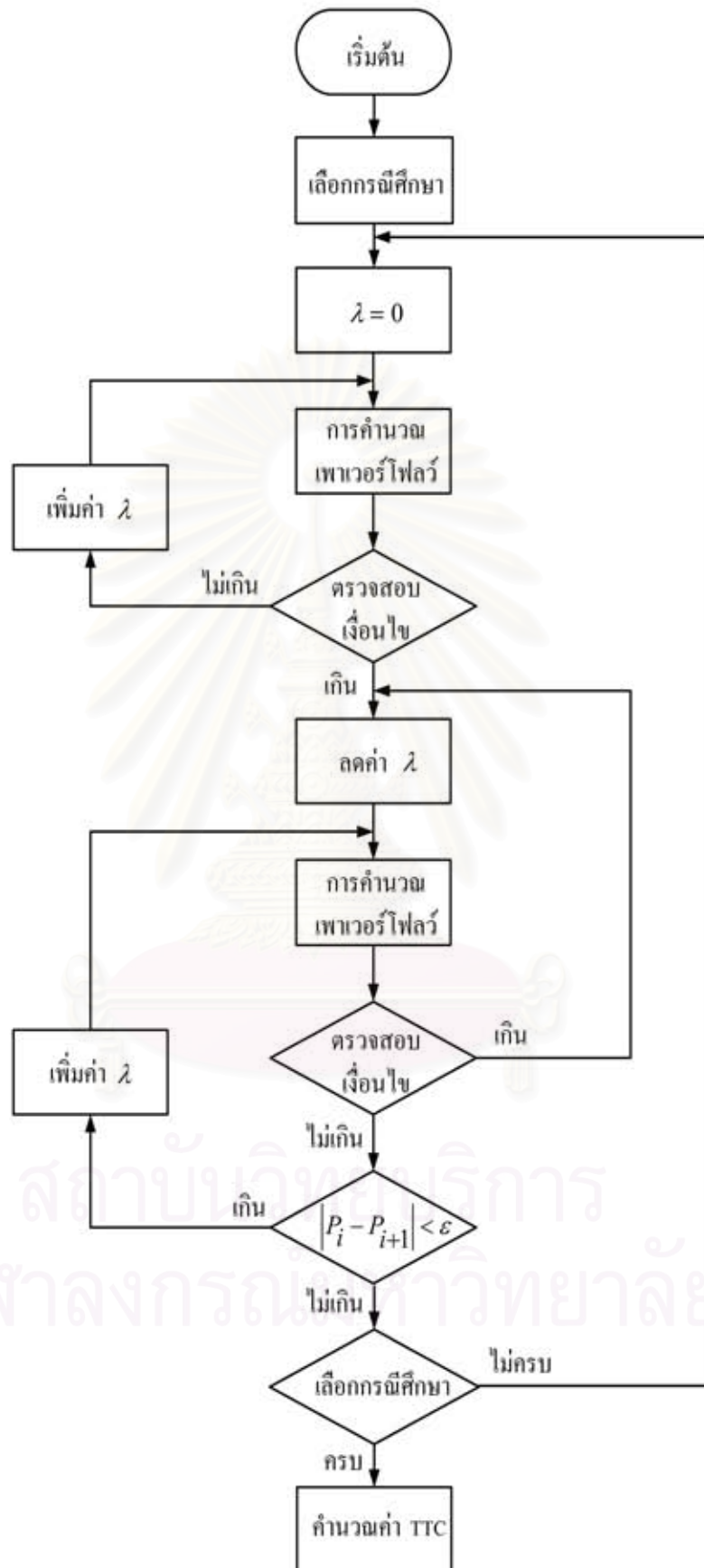
1. เลือกกรณีศึกษา
2. กำหนดค่าเริ่มต้น และทำการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ ($\lambda = 0$) ระบุค่าต่างๆ ของ FACTS ทั้งสอง
3. ใช้สมการที่ (2.7) และ (2.8) ในการเพิ่มโหลด
4. คำนวณเพาเวอร์โฟลว์อีกครั้ง
5. ตรวจสอบเงื่อนไขว่ามีการฝ่าฝืนขีดจำกัดหรือไม่ ถ้าฝ่าฝืนให้ทำการลดค่า λ ลงจนสามารถคำนวณค่ากำลังส่งรวมภายใต้ขีดจำกัดเลื่อนไปทำซ้ำถัดไป ถ้าไม่ฝ่าฝืนให้ไปเริ่มทำตั้งแต่ข้อ 3 ใหม่
6. สามารถคำนวณหาค่ากำลังส่งรวมจนได้ค่าสูงสุด ที่ λ_{max}
7. ปรับค่าต่างๆ ของอุปกรณ์ FACTS จนครบ
8. เลือกกรณีศึกษาลำดับถัดไป
9. เมื่อทำครบทุกกรณีแล้วให้เลือกค่าความสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากกรณีที่ต่ำสุด

ในส่วนของขั้นตอนการตรวจสอบเงื่อนไขได้มีการลดค่า λ โดยวิธีการ Bisection ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
เมื่อทราบขอบเขตของคำตอบแล้วดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 แล้วทำการคำนวณเพาเวอร์โพล์ ณ บริเวณกึ่งกลางของช่วงดังกล่าว จากนั้นจะทำการตรวจสอบเงื่อนไข หากจุดทำงานที่คำนวณได้ขัดแย้งกับเงื่อนไขจะเลือกช่วงที่น้อยกว่า (ช่วงที่1) โดยการคำนวณในรอบถัดไปให้ถือว่าจุดกึ่งกลางเป็นขอบเขตบนของช่วง แต่ถ้าหากจุดทำงานไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขจะทำการเลือกช่วงที่มากกว่า (ช่วงที่2) โดยการคำนวณในรอบถัดไปให้ถือว่าจุดกึ่งกลางเป็นขอบเขตล่างของช่วง จากหลักการดังกล่าวจะช่วยทำให้การคำนวณมีความละเอียดมากขึ้น



รูปที่ 2.3 การเพิ่มความละเอียดของคำตอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 แผนภูมิการคำนวณเพาเวอร์ไฟลว์แบบซ้ำ

2.4 สรุป

การคำนวณค่ากำลังส่งรวมด้วยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ ได้ถูกนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งในการตรวจสอบค่ากำลังส่งรวมสูงสุดด้วยวิธีกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมซึ่งจะถูกนำเสนอในบทถัดไป โดยที่เงื่อนไขของการหาค่ากำลังส่งรวมสูงสุดเท่ากับค่าต่ำสุดของ(เงื่อนไขอุณหภูมิ, เงื่อนไขขนาดแรงดันไฟฟ้า, เงื่อนไขขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, กรณีอุปกรณ์เสียหาย (สายส่งหลุด 1 เส้น)) และได้เพิ่มเติมในส่วนของการคำนวณค่ากำลังส่งรวมโดยนำเอากระบวนการ Bisection มาช่วยเพื่อเพิ่มความละเอียดในการหาคำตอบ ซึ่งเวลาในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นตามความละเอียดของคำตอบหรือตามความซับซ้อนของระบบหรือ ตัวแปร (อุปกรณ์เสียหาย (สายส่งหลุด 1 เส้น), ตำแหน่งของอุปกรณ์ FACTS, ค่าพารามิเตอร์ของตัวอุปกรณ์) ในการทดสอบเอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

หลักการพื้นฐานของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

3.1 แนวคิดของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

กระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม หรือ GA (Genetic Algorithms: GA) เป็นวิธีการออปติไมซ์แบบสุ่ม (Stochastic Optimization) เป็นวิธีการที่เลียนแบบหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (Natural Genetics) ทางธรรมชาติ [12], [13] เพื่อหาค่าความเหมาะสมโดยรวม (Global Optimum) โดยอาศัยการสมมุติจุดคำตอบขึ้นมาหลายๆ จุด (Population of Solution) ก่อนแล้วประยุกต์ใช้หลักการค้นหาจุดเหมาะสมที่สุดซึ่งมีโอกาสที่จะอยู่รอดมากที่สุด (Survival of the Fittest) เพื่อหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด (Generation) สำหรับในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอดจะมีการประเมินความเหมาะสม (Fitness) ของจุดคำตอบแต่ละจุดแล้วพิจารณาเลือกจุดคำตอบใหม่จากค่าความเหมาะสมนี้ โดยอาศัยวิธีทางพันธุศาสตร์มาประยุกต์ใช้ วิธีการทางพันธุศาสตร์ที่ใช้ประกอบด้วย การรีโพรดักชัน การครอสโอเวอร์และการมิวเทชัน จุดคำตอบแต่ละจุดจะประกอบไปด้วยสตริง (String) ของตัวแปรที่ถูกเข้ารหัสไว้เรียกว่าโครโมโซม (Chromosomes) ซึ่งสามารถเข้ารหัสเป็นค่าของตัวแปรจริงได้ โดยทั่วไปนิยมเข้ารหัสตัวแปรให้เป็นเลขฐานสอง

จากหลักการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการ ออปติไมซ์โดยใช้ GA นั้นจะแตกต่างจากวิธีออปติไมซ์วิธีอื่นๆ ดังนี้

1. GA ใช้รหัสของตัวแปรเป็นเครื่องมือในการออปติไมซ์แทนที่จะใช้ของตัวแปรโดยตรง ดังนั้นวิธีนี้จึงสะดวกในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับตัวแปรชนิดใดก็ได้ ไม่จำเป็นต้องเป็นตัวแปรต่อเนื่อง
2. GA เป็นวิธีออปติไมซ์ที่หาจากจุดเริ่มต้นหลายๆ จุดเป็นการหาจุดเหมาะสม โดยรวม โดยเทคนิคการออปติไมซ์แบบขนาน ทำให้คำตอบที่ได้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมโดยรวม
3. GA ใช้ข้อมูลเพียงแค่ค่าฟังก์ชันเป้าหมายเท่านั้น ดังนั้นวิธีนี้สามารถใช้กับฟังก์ชันเป้าหมายได้ทุกชนิด ไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องหรือหาอนุพันธ์ได้
4. GA ใช้ทฤษฎีทางความน่าจะเป็นในการหาคำตอบ

3.2 ส่วนประกอบของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

3.2.1 การเข้ารหัสและถอดรหัส (Coding and Decoding)

เนื่องจากกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมใช้รหัสของตัวแปรในการถอดรหัส ดังนั้นถ้าเลือกวิธีเข้ารหัสที่เหมาะสมย่อมทำให้กระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้เลขฐานสอง (0 และ 1) เป็นส่วนประกอบของสตริงในการเข้ารหัส ความยาวของสตริงเป็นตัวกำหนดความละเอียดของตัวแปรที่เรา ต้องการ ตัวอย่างเช่น ตัวแปร x มีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 2 และต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 6 ดังนั้นในช่วงตัวแปร -1 ถึง 2 จึงควรถูกแบ่งออกเป็นอย่างน้อย $[(2 - (-1)) * 1000000 = 3000000]$ ช่วงย่อยๆ นั้นหมายถึงเราต้องใช้สตริงที่มีความยาว 22 บิต เนื่องจาก

$$2097152 = 2^{21} \leq 3000000 \leq 2^{22} = 4194303$$

ส่วนการถอดรหัสจากสตริงให้เป็นค่าจริงของตัวแปรนั้นสามารถทำได้ 2 ขั้นตอนคือ

1. แปลงจากเลขฐานสอง $\langle b_{21}b_{20} \dots b_0 \rangle$ ให้เป็นเลขฐานสิบซึ่งมีค่า x' ที่สามารถทำได้โดยอาศัยสมการ

$$x' = \sum_{i=0}^{21} b_i * 2^i$$

2. หาค่าจริงของตัวแปร x จากการประมาณค่าในช่วง (Interpolate) ด้วยสมการ

$$x = -1.0 + x' * \frac{(2 - (-1))}{2^{22} - 1}$$

โดยที่ -1 คือ ขอบล่างตัวแปรและ 2 คือ ขอบบนของตัวแปร

3.2.2 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

โดยทั่วไปนิยมกำหนดประชากรเริ่มต้น โดยการเลือกสุ่มจำนวน โครโมโซมเท่ากับจำนวนประชากรทั้งหมด

ตัวอย่างเช่น ต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 31]$ ในที่นี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Object Function) คือ $f(x)$ หรือ x^2 ซึ่งวิธีการเข้ารหัสแบบไบนารี โดยแปลงค่าพารามิเตอร์ x ให้อยู่ในรูปไบนารี 5 บิต จะทำให้ค่าพารามิเตอร์ของ x มีค่าตั้งแต่ 00000 ถึง 11111 (0 ถึง 31)

เมื่อกำหนดวิธีการเข้ารหัสแล้วจึงจำเป็นต้องสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) โดยวิธีการสุ่ม เพื่อจะผ่านขั้นตอนของการถ่ายทอดต่อไป สมมุติว่าประชากรเริ่มต้น เป็น 4 สตรีง เช่น

01101

11000

01000

10011

ค่าสตรีงของประชากรเริ่มต้นนี้ เกิดจากการสุ่มค่า ทั้งหมด 20 ครั้ง หรือ สตรีง แต่ละตัวสุ่ม 5 ครั้ง

3.2.3 การประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

กระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมจะพิจารณาเลือกจุดค่าตอบแทนโดยอาศัยค่าความเหมาะสมที่ไม่เป็นลบ โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมนี้จะมีค่าเท่ากับค่าฟังก์ชันเป้าหมาย แต่ในบางกรณีค่าความเหมาะสมนี้อาจจะหาจากการจัดลำดับชั้น (Ranking) ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย หรือส่วนกลับของฟังก์ชันเป้าหมาย

3.2.4 การดำเนินการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Algorithms)

สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

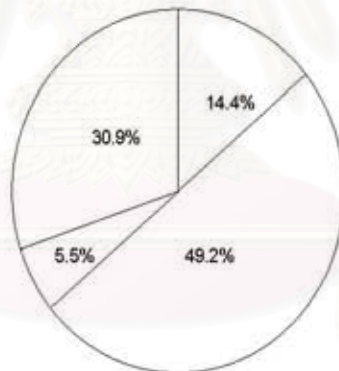
1. รีโพรดักชัน (Reproduction)

เป็นขั้นตอนที่จะเลือกว่าโครโมโซมแต่ละตัวในกลุ่มประชากรนั้นว่าจะอยู่รอดหรือไม่ในรุ่นต่อไป โดยพิจารณาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมสูง

ก็จะมีโอกาสรอดมาก ส่วนโครโมโซมจำนวน 4 ตัว แต่ละตัวคิดค่าความเหมาะสมเทียบกับผลรวมค่าความเหมาะสมรวมทั้งหมด จากนั้นนำสัดส่วนดังกล่าวไปจัดในแผนภูมิวงกลมดังกล่าวอย่างสุ่มจำนวน 4 ครั้ง (เท่ากับจำนวนประชากรทั้งหมด) ถ้าเข็ม A ชี้ตรงกับพื้นที่ใดในแผนภูมิดังกล่าว โครโมโซมตัวนั้นก็จะได้รับคัดเลือกให้อยู่รอด

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการหาค่าความเหมาะสม

ลำดับที่	สตริง	ค่าความเหมาะสม	สัดส่วนความเหมาะสม
1	01101	169	14.4
2	11000	576	49.2
3	01000	64	5.5
4	10011	361	30.9
ผลรวม		1170	100.0



รูปที่ 3.1 การรีโพรดักชัน

2. การครอสโอเวอร์ (Crossover)

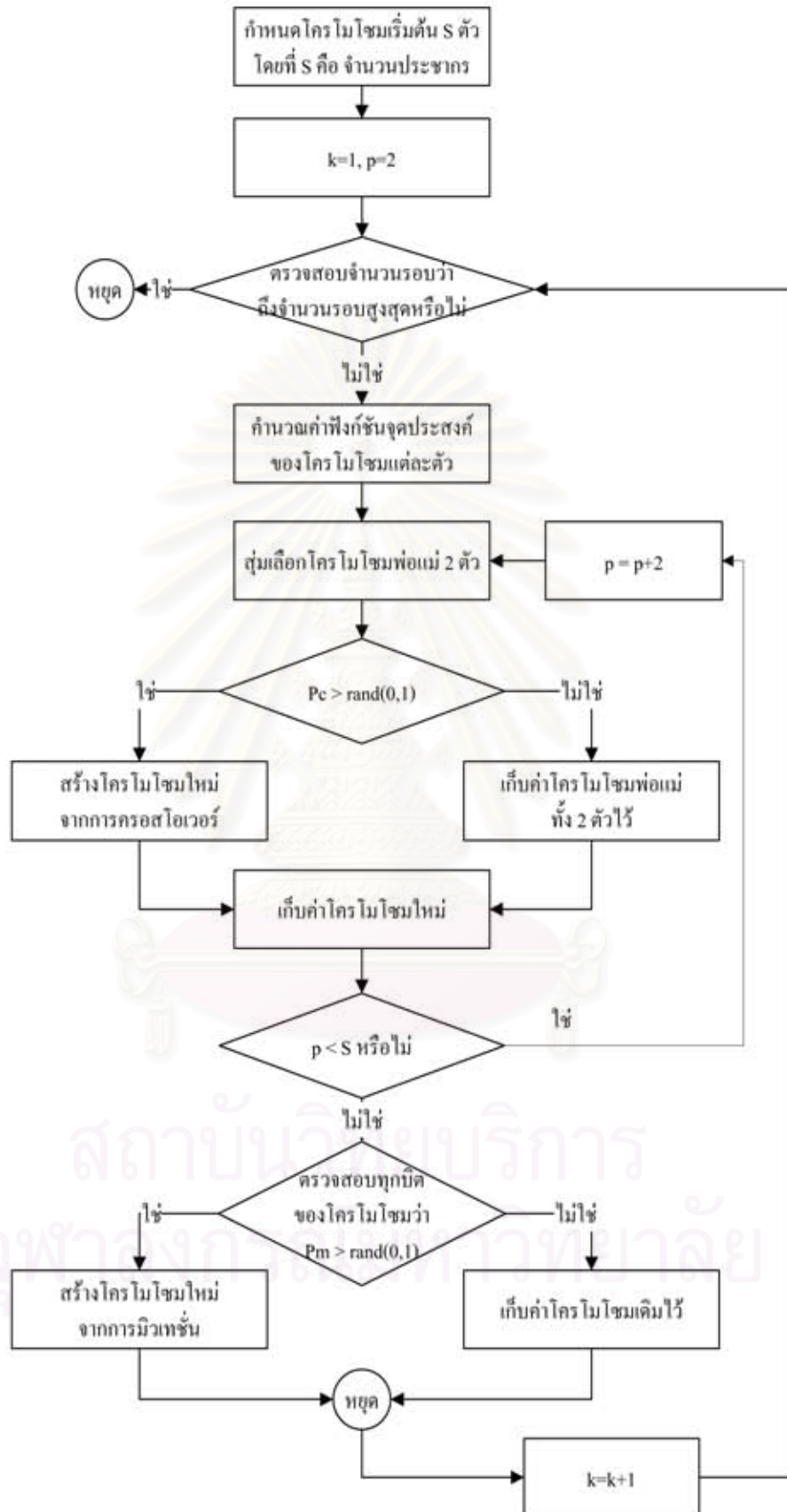
เป็นการบวนการที่โครโมโซมคู่หนึ่งๆ จะแลกเปลี่ยนบิตกันในบางตำแหน่ง เพื่อให้กำเนิดโครโมโซมโครงสร้างใหม่ๆ ขึ้นมา ด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (Probability of crossover) ความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ก็คือเลขจริงระหว่าง 0 ถึง 1 ที่เรากำหนดขึ้นมาเพื่อบอกว่าโครโมโซมมีโอกาสครอสโอเวอร์มากน้อยแค่ไหน รูปที่ 3.2 แสดงการครอสโอเวอร์ โดยในขั้นแรกจะสุ่มเลขจริงในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาถ้าเลขที่สุ่มนี้มีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ก็จะครอสโอเวอร์ โดยโครโมโซมคู่หนึ่งจะถูกสุ่มขึ้นมาเรียกว่าโครโมโซม

3.2.5 เงื่อนไขการหยุด

เงื่อนไขการหยุดของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม มีอยู่หลายวิธี เช่นค่าของฟังก์ชันเป้าหมายเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ หรือ มีการเปลี่ยนแปลงบิตในโครโมโซมแต่ละตัวน้อยกว่าจำนวนที่ยอมรับได้แต่โดยทั่วไปนิยมหยุดหาคำตอบเมื่อครบจำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดไว้จากส่วนประกอบข้างต้นขั้นตอนการหาจุดเหมาะสมโดยรวมกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 3.4



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

3.3 ทฤษฎีบทสคิมมา (Schema Theorem)

เจเนติกอัลกอริทึมคำนวณหาจุดเหมาะสมโดยรวมโดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นและหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมมาประยุกต์กับโครโมโซมซึ่งประกอบไปด้วยบิตสตริงที่ได้มาจากการลงรหัสของตัวแปรในการแก้ปัญหา ทฤษฎีที่อธิบายหลักการเจเนติกอัลกอริทึม เรียกว่า ทฤษฎีบทสคิมมา (Schema) คือส่วนย่อยของสตริงที่มีความเหมือนกันในบางตำแหน่ง ในการลงรหัสด้วยเลขฐานสองสคิมมา จะประกอบไปด้วยบิตที่มี 3 ลักษณะได้แก่ 0, 1 และ * โดย 0 และ 1 คือเลขฐานสองที่ใช้ลงรหัสนั้นเอง ส่วน * เรียกว่า Don't care symbol ซึ่งหมายความว่าที่ตำแหน่งนั้นสคิมมาเราไม่สนใจว่าบิตจะเป็น 0 หรือ 1 ตัวอย่างของสคิมมา เช่น

$$H_1 = (**001*110)$$

$$H_2 = (****00**0*)$$

$$H_3 = (11101**001)$$

สคิมมามีคุณสมบัติที่สำคัญอยู่ 2 อย่างได้แก่

1. อันดับของสคิมมา (Order : $O(H)$) คือ จำนวนตำแหน่งของบิต 0 และ 1 ที่ประกอบอยู่ในสคิมมานั้นๆ ตัวอย่างเช่น

$$O(H_1) = 6$$

$$O(H_2) = 3$$

$$O(H_3) = 8$$

2. ความยาวกำหนด (Defining Length : $\delta(H)$) คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่ง 0 หรือ 1 ตัวแรกในสคิมมา และ ตำแหน่ง 0 หรือ 1 ตัวสุดท้ายในสคิมมา ตัวอย่างเช่น

$$\delta(H_1) = 10 - 4 = 6$$

$$\delta(H_2) = 9 - 5 = 4$$

$$\delta(H_3) = 10 - 1 = 9$$

ในระหว่างการรีโพรดักชัน โครโมโซมหรือบิตสตรีงมีโอกาสที่จะได้รับให้อยู่รอดตามสัดส่วนค่าความเหมาะสมของบิตสตรีงนั้นๆ ต่อค่าความเหมาะสมรวมของบิตสตรีงในประชากรทั้งหมด กำหนดให้ $m(H,t)$ แทนสคิมมา H ที่เวลา t โดย $f(H)$ คือความเหมาะสมเฉลี่ยของบิตสตรีงทุกตัวที่สอดคล้องกับสคิมมา H ซึ่งหาค่าได้ตามหัวข้อ 3.2.3 และ \bar{f} คือ ความเหมาะสมเฉลี่ยของบิตสตรีงทั้งหมดในประชากร เราจะได้ว่าภายหลังการรีโพรดักชัน สคิมมา H จะหาได้จาก

$$m(H,t+1) = m(H,t) * \frac{f(H)}{\bar{f}} \quad (3.1)$$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการรีโพรดักชัน สคิมมาใดที่มีความเหมาะสมสูงกว่าความเหมาะสมเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) ภายหลังการรีโพรดักชัน ในขณะที่สคิมมาที่มีความเหมาะสมเฉลี่ยต่ำกว่าประชากรทั้งหมดจะมีจำนวนลดน้อยลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ภายหลังการรีโพรดักชัน

ถึงแม้ว่าการรีโพรดักชันจะสามารถทำให้บิตสตรีงที่มีค่าความเหมาะสมที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ในแต่ละรอบของการรีโพรดักชัน แต่การรีโพรดักชันก็ไม่ใช่วิธีการที่เพียงพอในการได้คำตอบที่เหมาะสมโดยรวม ทั้งนี้เพราะบิตสตรีงที่ได้ก็จะเป็นบิตสตรีงชุดเดียวกับที่กำหนดเริ่มต้นขึ้นมาครั้งแรก ดังนั้นจึงต้องมีการครอสโอเวอร์ เพื่อกำหนดบิตสตรีงที่มีโครงสร้างใหม่ๆ ขึ้นมา ในการครอสโอเวอร์เราจะสุ่มตำแหน่งในบิตสตรีงขึ้นมาตำแหน่งหนึ่งเรียกว่าตำแหน่งครอสโอเวอร์ จากนั้นบิตสตรีงทั้ง 2 ชุด ก็จะทำการแลกเปลี่ยนบิตกันตั้งแต่หลังตำแหน่งครอสโอเวอร์จนถึงบิตสุดท้ายของบิตสตรีง พิจารณาบิตสตรีง A ที่สอดคล้องกับ H_1 และ H_2

$$\begin{aligned} A &= 0111001 \\ H_1 &= *1****0 \\ H_2 &= ***10** \end{aligned}$$

A , H_1 และ H_2 มีความยาวบิตสตรีง 7 (มี 6 ตำแหน่งที่มีโอกาสเป็นตำแหน่งครอสโอเวอร์) สมมุติตำแหน่งครอสโอเวอร์คือ ตำแหน่งที่อยู่ระหว่างบิตที่ 3 และบิตที่ 4

$$\begin{aligned}
 A &= 011|1001 \\
 H_1 &= *1*|***0 \\
 H_2 &= ***|10**
 \end{aligned}$$

เมื่อเกิดครอสโอเวอร์ขึ้น H_1 จะถูกทำลายไปเนื่องมาจากบิต 1 ในตำแหน่งที่ 2 และบิต 0 ในตำแหน่งที่ 7 จะถูกแยกออกจากกันภายหลังการครอสโอเวอร์ ในขณะที่ H_2 จะอยู่รอดเนื่องมาจากบิต 1 ในตำแหน่งที่ 4 และบิต 0 ในตำแหน่งที่ 5 จะอยู่ด้วยกันภายหลังการครอสโอเวอร์ จะสังเกตเห็นได้ว่าหากตำแหน่งครอสโอเวอร์เป็นตำแหน่งที่อยู่ในความยาวกำหนดของสคิมมา สคิมมานั้นๆ ก็จำถูกทำลายภายหลังการครอสโอเวอร์ ดังนั้นสคิมมาที่มีความยาวกำหนดน้อยๆ มีโอกาสที่จะอยู่รอดมากกว่าสคิมมาที่มีความยาวกำหนดสูงๆ จากข้างต้น $\delta(H_1) = 5$ และ $\delta(H_2) = 1$ ดังนั้น H_2 มีโอกาสจะอยู่รอดสูงกว่า H_1 ภายหลังการครอสโอเวอร์ กำหนดให้ 1 คือ ความยาวของบิตสตริง และ P_s คือความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่สคิมมาจะอยู่รอดภายหลังการครอสโอเวอร์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$P_s = 1 - \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (3.2)$$

และเมื่อพิจารณาถึงความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ (P_c) ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่สคิมมาจะอยู่รอดภายหลังการครอสโอเวอร์ก็คือ

$$P_s \geq \frac{P_c * \delta(H)}{l-1} \quad (3.3)$$

เมื่อรวมผลการวิปริตดักจับและการครอสโอเวอร์ สคิมมา H สามารถคำนวณได้จาก

$$m(H,t+1) \geq m(H,t) * \frac{f(H)}{f} \left[1 - \frac{P_c * \delta(H)}{l-1} \right] \quad (3.4)$$

สคิมมา H จะอยู่รอดหรือถูกทำลายไปขึ้นกับค่าความเหมาะสมและความยาวกำหนดของสคิมมานั้นๆ สคิมมาใด ที่มีความเหมาะสมสูงกว่าค่าความเหมาะสมเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดและมีความยาว

กำหนดน้อยก็มีโอกาสที่จะเพิ่มจำนวนภายหลังการรี โพรดักชันและการครอส โอเวอร์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

เมื่อผ่านการรี โพรดักชันและครอสโอเวอร์แล้ว ขั้นตอนสุดท้ายของเจนติกอัลกอริทึมก็คือ การมิวเทชัน ซึ่งจะทำการบิดทุกตำแหน่งในบิดสตริงใดๆ โดยการเปลี่ยนบิตที่ตำแหน่งนั้นจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 ด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่งเรียกว่าความน่าจะเป็นของการมิวเทชัน (P_m) สติมมา H จะอยู่รอดก็ต่อเมื่อตำแหน่ง 1 และ 0 ทุกตำแหน่งใน H ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นโอกาสอยู่รอดภายหลังมิวเทชันจะสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวน 0 และ 1 ในสติมมา หรืออันดับของสติมมานั้นเองโอกาสอยู่รอดภายหลังการมิวเทชันสามารถให้ได้จากความสัมพันธ์

$$P_s \geq (1 - P_m)^{O(H)} \quad (3.5)$$

โดยปกติ $P_m \ll 1$ ดังนั้นโอกาสอยู่รอดของสติมมา ภายหลังการมิวเทชันสามารถประมาณได้เป็น

$$P_s \geq 1 - P_m * O(H) \quad (3.6)$$

เมื่อรวมผลของรี โพรดักชัน ครอสโอเวอร์ และมิวเทชัน สติมมา H สามารถหาได้จาก

$$m(H,t+1) \geq m(H,t) * \frac{f(H)}{\bar{f}} \left[1 - \frac{P_C * \delta(H)}{1-1} - P_m * O(H) \right] \quad (3.7)$$

กล่าวคือ สติมมาที่มีความเหมาะสมเฉลี่ยสูงกว่าความเหมาะสมเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดมีความยากำหนดที่สั้นๆ และอันดับต่ำๆ จะเป็นสติมมาที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลในแต่ละรอบของเจนติกอัลกอริทึม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึม

เจเนติกอัลกอริทึมที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2 เป็นเพียงเจเนติกอัลกอริทึมแบบพื้นฐานที่ใช้กันมานาน แต่ในบางครั้ง เจเนติกอัลกอริทึมแบบพื้นฐานดังกล่าวจะให้คำตอบที่ไม่ดี ทั้งนี้เนื่องจาก ในบางครั้งเมื่อแก้ปัญหาออปติไมซ์ด้วยเจเนติกอัลกอริทึมแบบพื้นฐานนั้นคำตอบที่ได้ อาจจะเป็นจุดเหมาะสมเฉพาะที่ (Local Optimum) เนื่องมาจากการลู่เข้าก่อนกำหนด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการปรับปรุงเจเนติกอัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพในการหาจุดเหมาะสม โดยรวมมากขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนและเพิ่มขั้นตอนในระหว่างกระบวนการถ่ายทอด

3.4.1 ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ (Uniform Crossover)

เป็นกระบวนการที่ถูกนำมาแทน การครอสโอเวอร์แบบเก่าที่ไม่สามารถทำการครอสโอเวอร์ได้ทุกตำแหน่ง เช่น การครอสโอเวอร์แบบเก่าจะทำการสุ่มตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์จากนั้นจะทำการแลกเปลี่ยนบิต ระหว่างโครโมโซมคู่พ่อแม่ในตำแหน่งหลังตำแหน่งที่ถูกสุ่มขึ้นมา ดังนั้นจะเห็นได้ว่า จะไม่มีโอกาสเลยที่บิตในตำแหน่งที่ 1 จะถูกเปลี่ยน ดังนั้นจึงมีการปรับเปลี่ยน เป็นการทำให้ Uniform Crossover จะสามารถทำได้โดยกรรมวิธีที่คล้ายกับการครอสโอเวอร์แบบเก่า แต่จะแตกต่างกันตรงที่ ถ้าสุ่มตัวเลขขึ้นแล้วมีค่า น้อยกว่าความน่าจะเป็นของการทำ Uniform Crossover ก็จะทำการสุ่มชุดโครโมโซมที่มีความยาวเท่ากับโครโมโซมพ่อแม่ นำโครโมโซมใหม่ที่ได้ มาเทียบกับโครโมโซมคู่พ่อแม่ โดยจะทำการแลกเปลี่ยนบิตระหว่างพ่อแม่ โดยดูจากค่าของโครโมโซมชุดใหม่ถ้า มีค่าเป็น 1 ให้ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งบิตในตำแหน่งเดียวกัน ถ้าเป็นศูนย์ ก็ไม่มีการแลกเปลี่ยน ดังรูปที่ 3.5

1	1	0	0	0	โครโมโซมพ่อแม่ 1
0	1	0	1	1	โครโมโซมพ่อแม่ 2
1	0	1	1	0	สุ่ม
0	1	0	1	0	โครโมโซมลูก 1
1	1	0	0	1	โครโมโซมลูก 2

รูปที่ 3.5 ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

3.4.2 อีลิทิสซึม (Elitism)

เนื่องจากในกระบวนการถ่ายทอดจะอาศัยความน่าจะเป็นในการถ่ายทอดกลุ่มประชากรจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นถัดไปซึ่งไม่มีหลักประกันว่าค่าในรอบถัดไปจะมีค่าดีกว่าค่าในรอบก่อนหน้า จากปัญหานี้เอง จึงเกิดแนวคิดที่จะทำการเก็บชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการถ่ายทอด เพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมในรอบถัดไปจะมีค่าความเหมาะสมไม่น้อยกว่ารอบก่อนหน้าเสมอ โดยการนำกระบวนการอีลิทิสซึม มาใช้กับกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมมีดังนี้

1. การกำหนดกลุ่มประชากรเริ่มต้น
2. หาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว
3. จากประชากรทั้งหมดจะเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดเก็บไว้
4. นำโครโมโซมที่ไม่ได้รับการคัดเลือกไปผ่านกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (Reproduction, Uniform Crossover, Mutation)
5. นำโครโมโซมจากขั้นที่ 3 และ 4 มารวมกัน
6. ย้อนกลับไปทำข้อ 2 จนครบรอบที่กำหนด

3.5 การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมร่วมกับการคำนวณพาวเวอร์โพล์แบบซ้ำ

สำหรับกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ในที่นี้ใช้ในการหาค่าตำแหน่ง พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS และการจำลองสายส่งหลุด โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อให้ค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือค่ากำลังส่งรวมสูงสุด [14], [15] ดังนั้นจึงมีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายเป็นการคำนวณผลรวมของความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าหรือค่ากำลังส่งรวมสูงสุดตาม (3.8) แต่เนื่องจากตัวแปรที่หาจากกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเองมีการจำลองสายส่งหลุดด้วย ซึ่งจะมีลักษณะฟังก์ชันเป้าหมายเป็นการคำนวณผลรวมของความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าหรือค่ากำลังส่งรวมต่ำสุดตาม (3.9) ทำให้ไม่สามารถจำลองการหาค่าตำแหน่ง พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS และการจำลองสายส่งหลุดได้พร้อมกันและไม่สามารถกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายได้ตามปกติ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงต้องแยกตัวแปรที่ต้องการออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะทำการจำลองเหตุการณ์สายส่งหลุดก่อน โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นค่ากำลังส่งรวมต่ำสุด (ยังไม่คิดผลของการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS) จากนั้นเมื่อสามารถหาสายส่งที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังส่งรวมสูงสุด แล้วจึงค่อยทำการจำลองเพื่อหาค่าตำแหน่งและ

ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นการคำนวณผลรวมของความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือค่ากำลังส่งรวมสูงสุด

สำหรับเงื่อนไขต่างๆ ในการคำนวณโหลดโพล์ก็จะเป็นไปตามเงื่อนไขที่พิจารณาตาม (3.12-3.13) และ (3.14) สำหรับการประยุกต์ใช้วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ร่วมกับการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ สามารถทำได้โดยเริ่มจาก การกำหนดตัวแปรต่างๆ โดยสตริ่งที่ใช้จะสามารถแยกเป็น 2 ส่วนคือสตริ่งชุดแรกจะเป็นของการจำลองสายส่งหลุด โดยสตริ่งชุดแรกมีความยาวเท่ากับจำนวนสายส่งที่แปลงค่าไปอยู่ในรูปของเลขฐาน สตริ่งย่อยชุดที่สองภายในจะประกอบไปด้วยสตริ่งย่อย 2 ชุดคือชุดของตำแหน่ง และชุดของการตั้งค่าพารามิเตอร์ โดยจำนวนบิตของสตริ่งย่อยชุดแรก จะมีค่าเท่ากับจำนวนสายส่งในระบบหรือ จำนวนบัสในระบบโดยแปลงค่าให้อยู่ในรูปของเลขฐาน ส่วนสตริ่งย่อยชุดที่ 2 จะแทนค่าพารามิเตอร์ของ FACTS โดยความยาวของสตริ่งย่อยชุดนี้จะ ขึ้นกับความละเอียดในการปรับค่าพารามิเตอร์ เมื่อแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ให้อยู่ในรูปของ โครโมโซมแล้ว จากนั้นก็ทำการกำหนดกลุ่มประชากรเริ่มต้นตามจำนวนที่ต้องการสุ่ม และแปลงค่ากลับเป็นจำนวนจริงเพื่อนำ ค่าต่างๆ ไปใช้ในการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ ในกรณีที่โครโมโซมตัวใดสามารถให้ค่าตามฟังก์ชันเป้าหมายสูงสุดก็ถูกเก็บค่าไว้ ส่วนตัวอื่นๆ จะถูกคัดเลือกเพื่อนำไปผ่านการดำเนินการทางพันธุกรรม คือ การครอสโอเวอร์และการมิวเทชันต่อไป จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการใหม่อีกรอบ สำหรับเงื่อนไขในการหยุดจะตรวจสอบว่าครบจำนวนรอบการถ่ายทอดสูงสุดที่กำหนดไว้หรือไม่ ดังรูปที่ 3.6

การจำลองหาตำแหน่งและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS

ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ

$$\text{Maximum} = TTC = \sum_{i=1}^{N_SK} P_{Di}(\lambda_{max}) - \sum_{i=1}^{N_SK} P_{Di}^0 \quad (3.8)$$

การจำลองสายส่งหลุด

ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ

$$\text{Minimum} = TTC = \sum_{i=1}^{N_SK} P_{Di}(\lambda_{max}) - \sum_{i=1}^{N_SK} P_{Di}^0 \quad (3.9)$$

โดย

$P_{Di}(\lambda_{max})$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i เมื่อ $\lambda = \lambda_{max}$

P_{Di}^0 คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i เมื่อ $\lambda = 0$

N_SK คือ จำนวนบัสในพื้นที่รับโหลด

ในงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการหาค่ากำลังส่งรวมหรือความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าแบบบัสต่อบัส
 ดังนั้นในฟังก์ชันเป้าหมายตาม (3.8) และ (3.9) จึงมีจำนวนบัสในพื้นที่รับโหลดจึงมีเพียงบัสเดียวเท่านั้น

สมการการคำนวณเพาเวอร์โพลาร์แบบทั่วไป

$$P_{Gi} - P_{Di} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \quad (3.10)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \quad (3.11)$$

เงื่อนไขจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (3.12)$$

$$|U_i|_{\min} \leq U_i \leq |U_i|_{\max} \quad (3.13)$$

$$|S_{ij}| \leq |S_{ij}|_{\max} \quad (3.14)$$

โดยที่

U_i คือ ค่าขนาดแรงดันที่บัส i

$|U_i|_{\min}$ คือ ค่าขนาดแรงดันต่ำที่บัส i

$|U_i|_{\max}$ คือ ค่าขนาดแรงดันสูงสุดที่บัส i

$|S_{ij}|$ คือ ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย i และ j

$|S_{ij}|_{\max}$ คือ ขนาดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถไหลในสาย i และ j

P_{Gi} คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่าย ณ บัส i

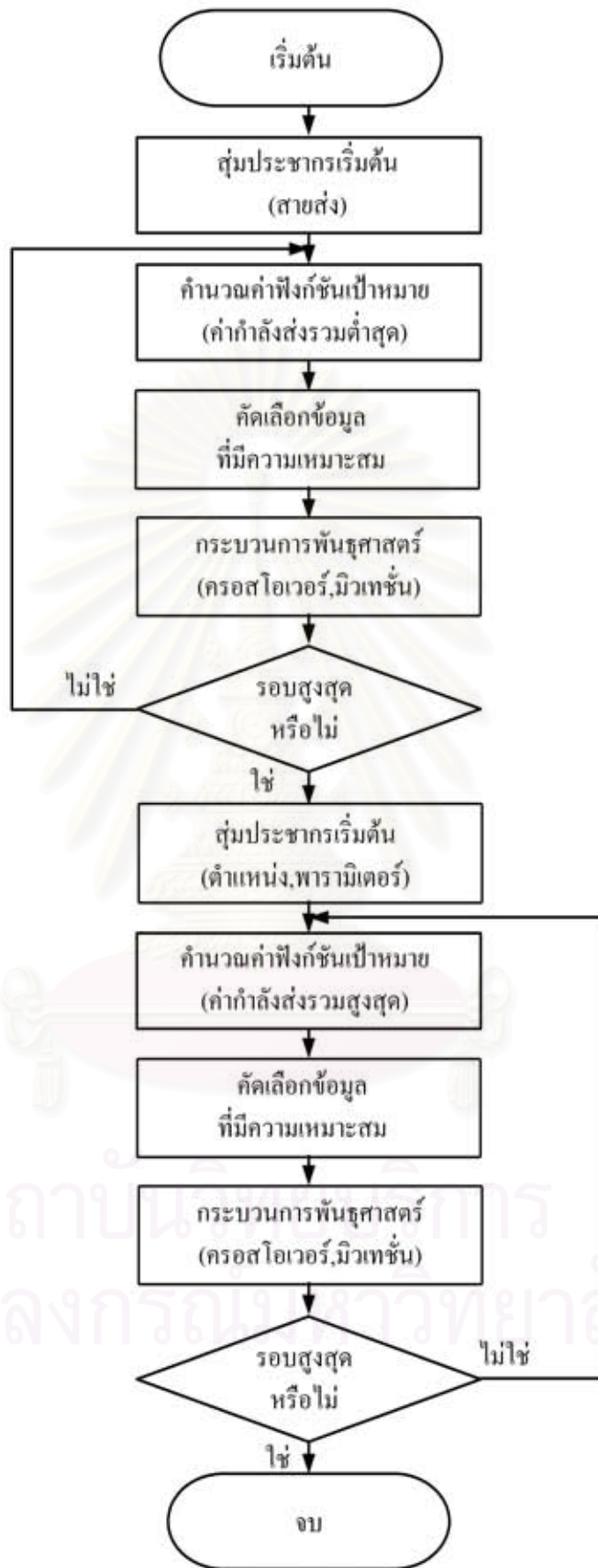
P_{Gi}^{\min} คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i จ่ายกำลังได้น้อยที่สุด

P_{Gi}^{\max} คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i จ่ายกำลังได้มากที่สุด

ขั้นตอนการดำเนินการของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมมีดังนี้

1. สุ่มข้อมูลเบื้องต้น (สายส่งหลุด)
2. คำนวณค่าตัวแปรในฟังก์ชันเป้าหมาย (ค่ากำลังส่งรวมต่ำสุด)
3. คัดกลุ่มประชากรที่มีค่ากำลังส่งรวมต่ำสุด ข้อมูลส่วนที่เหลือจะถูกนำไปปรับปรุงค่าผ่านกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม รวมข้อมูลทั้ง 2 เข้าด้วยกัน
4. จำนวนรอบสูงสุดหรือไม่ ถ้าสูงสุดแล้วก็จะได้สายส่งที่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังส่งรวมมากที่สุด เพื่อนำส่งข้อมูลได้กล่าวไปใช้ยังข้อถัดไป ถ้ายังข้อมูลที่ได้จากข้อ 3 จะถูกส่งกลับไปยังข้อ 2 ทำซ้ำจนครบจำนวนรอบ
5. สุ่มข้อมูลเบื้องต้น (ตำแหน่งและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS)
6. คำนวณค่าตัวแปรในฟังก์ชันเป้าหมาย (ค่ากำลังส่งรวมสูงสุด)
7. คัดกลุ่มประชากรที่มีค่ากำลังส่งรวมสูงสุด ข้อมูลส่วนที่เหลือจะถูกนำไปปรับปรุงค่าผ่านกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม รวมข้อมูลทั้ง 2 เข้าด้วยกัน
8. จำนวนรอบสูงสุดหรือไม่ ถ้าสูงสุดแล้วก็จบกระบวนการ ถ้ายังข้อมูลที่ได้จากข้อ 7 จะถูกส่งกลับไปยังข้อ 6 ทำซ้ำจนครบจำนวนรอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 แผนภูมิของกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

3.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นการออปติไมซ์แบบสุ่ม ที่อาศัยหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมในธรรมชาติ โดยจะกระทำผ่านกลุ่มโครโมโซมที่ประกอบไปด้วยรหัสของตัวแปรโครโมโซม แต่ละตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตัวเอง จากนั้นประยุกต์ใช้หลักการที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดที่มีโอกาสอยู่รอดมากที่สุด

จากกระบวนการถ่ายทอดแบบพื้นฐาน ในบทนี้ได้มีการเพิ่มเติมและแก้ไขบางส่วนเพื่อช่วยให้สามารถคัดเลือกกลุ่มประชากรที่มีความเหมาะสมทำให้เพิ่มโอกาสในการจัดการกับปัญหาได้ดียิ่งขึ้น

โดยบทนี้มีการแบ่งขั้นตอนในการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรก จะเป็นการจำลองสายส่งหลุด เพื่อหาสายส่งเส้นที่มีผลของค่ากำลังส่งรวมมากที่สุด จากนั้นเป็นการหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ FACTS ที่มีผลต่อการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมสูงสุด จากผลดังกล่าวทำให้เราสามารถหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมต่อปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมได้ แต่ข้อเสียจากการแบ่งขั้นตอนในการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมออกเป็น 2 ส่วน คือถ้าผลจากการจำลองสายส่งหลุดเกิดได้ค่าที่ผิดพลาดเป็นผลให้การหาค่าตำแหน่งและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS ได้ค่าที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นในการหาค่าตอบจากขั้นตอนแรกจึงกำหนดรอบให้สูงไว้ก่อน เพื่อป้องกันการผิดพลาดของคำตอบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลักการพื้นฐานในการจำลองคอมพิวเตอร์โดยวิธีการฟัซซี

4.1 การนำเสนอฟัซซี

แนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีฟัซซีเซตได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี 1965 [16-18] โดย "Zadeh" ลักษณะที่สำคัญที่เป็นจุดเด่นของทฤษฎีฟัซซีเซต คือ ทฤษฎีฟัซซีเซตเป็นแนวทางในการอธิบายถึงความคลุมเครือ (Vagueness) ความไม่ชัดเจนของคำพูด คำอธิบายในเชิงภาษา (Linguistic) หรือความไม่ชัดเจนของข้อมูลให้ออกมาอยู่ในรูปคณิตศาสตร์ได้

โดยการพิจารณาแนวคิดและหลักการพื้นฐานของทฤษฎีฟัซซีเซตจะพบว่า หลักการพื้นฐานที่แตกต่างกันระหว่างความเป็นฟัซซี (Fuzziness) กับความน่าจะเป็น (Probability) คือ ความเป็นฟัซซีนั้นเกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่หาค่าได้หรือกำหนดได้ (Deterministic Plausibility) ความเป็นฟัซซีเป็นรูปแบบหนึ่งของความคลุมเครือที่พบในคำจำกัดความของแนวคิดหรือความหมายของคำพิจารณา ในขณะที่ความน่าจะเป็นจะเกี่ยวข้องกับความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้น (Likelihood) ของเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์หรือกำหนดได้ (Non-Deterministic) และเป็นแบบ Stochastic ความไม่แน่นอนตามแนวความคิดของความน่าจะเป็นนั้นจะเกี่ยวข้องกับการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ซึ่งมีลักษณะแบบสุ่ม (Randomness)

ความแตกต่างระหว่างความเป็นฟัซซีและความน่าจะเป็นนั้น หากพิจารณาจากการสร้างแบบจำลอง (Modeling) แล้วจะพบว่าแบบจำลองฟัซซีและแบบจำลองทางสถิติ (Statistic Model) มีชนิดของข้อมูลที่แตกต่างกันในเชิงปรัชญา คือ แบบจำลองฟัซซีแสดงในรูปของค่าความเป็นสมาชิก (Membership) ที่แสดงถึงความคล้ายกันข้อวัตถุต่างๆที่ไม่สามารถระบุคุณสมบัติอย่างชัดเจน โดยค่าความเป็นสมาชิคนั้นจะได้อาจมาจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ที่กำหนดขึ้น ส่วนแบบจำลองทางสถิติจะแสดงถึงการเกิดขึ้นของข้อมูลในเชิงความถี่สัมพัทธ์

สำหรับความแตกต่างระหว่างฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function: pdf) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก มีดังต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแสดงถึงความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้น ของ x ใดๆ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแสดงถึงความน่าจะเป็นสมาชิกของ x ใดๆ ในเซต

2. ค่ามากที่สุดของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น จะเป็นเลขจำนวนจริงบวกค่าหนึ่ง โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่า 1 ส่วนค่ามากที่สุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ 1
3. การอินทิเกรต (Integrate) ฟังก์ชันฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นจะเป็นค่าความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Probability) ส่วนการอินทิเกรตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกไม่มีนิยาม
4. รอยตัดในแต่ละระดับตามแนวนอนของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะแสดงถึงความเป็นสมาชิกในเซตที่มีระดับความน่าเชื่อถือหนึ่งๆ ส่วนกรณีของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนั้นไม่มีนิยาม

4.2 ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set Theory) [16-18]

เซตตามความหมายดั้งเดิม (Classical Crisp Set) คือการจัดกลุ่มของวัตถุ (Object) ที่ลักษณะเหมือนกันหรือสอดคล้องกันตามนิยามของเซตนั้นนำมารวมไว้ในกลุ่มเดียวกัน การกำหนดนิยามของเซตจะเป็นไปในแนวทางเพื่อแยกกลุ่มวัตถุต่างๆ ในขอบเขตทั้งหมดที่เราสนใจหรือเอกภพสัมพัทธ์ (Universe of Discourse) ออกเป็นสองกลุ่ม คือเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิกลักษณะของขอบเขตในการแบ่งแยกการเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิกของเซตจะถูกกำหนดอย่างแน่นอน (Crisp) และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงทันที ณ ตรงเส้นแบ่งขอบเขตนั้น

เราสามารถนิยามตามความหมายดั้งเดิม (Crisp Set) โดยการกำหนดฟังก์ชันที่ระบุถึงคุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะของเซตนั้น (Characteristic Function) ถ้ากำหนดให้ U คือขอบเขตทั้งหมดที่เราสนใจหรือเอกภพสัมพัทธ์ ฟังก์ชันคุณสมบัติของเซต A (Crisp Set) ใน U ($\mu_A(x)$) จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 นั้น

สังเกตว่าตรงจุดขอบของเซต A จะมีลักษณะคมและแบ่งแยกกลุ่มของ x ออกเป็นสองกลุ่มอย่างชัดเจน นั่นคือ $x \in A$ หรือ $x \notin A$ คือ

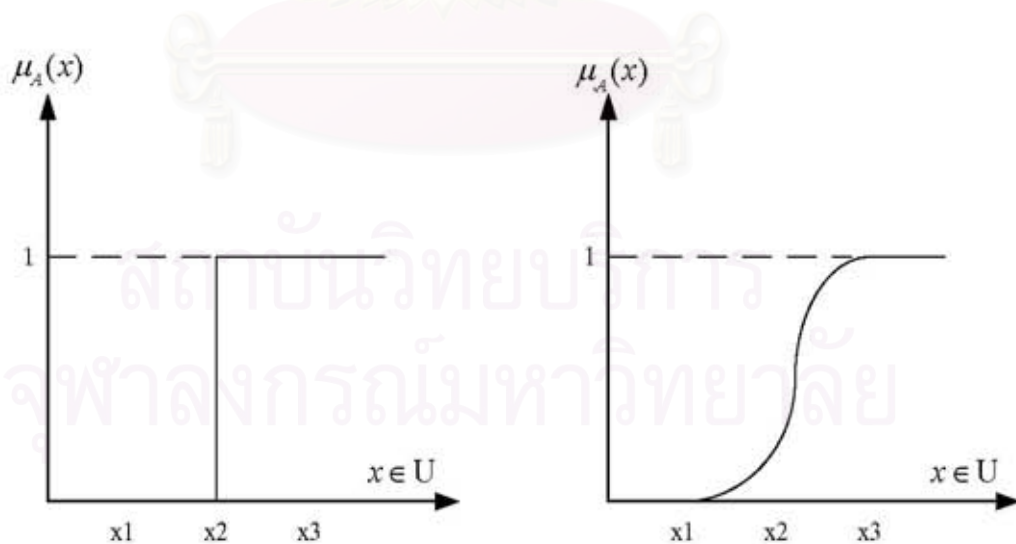
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{ก็ต่อเมื่อ } x \in A \\ 0 & \text{ก็ต่อเมื่อ } x \notin A \end{cases} \quad (4.1)$$

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) จะมีลักษณะที่แตกต่างจากเซตดั้งเดิมตรงที่ได้ขยายหลักการพื้นฐานของเซตดั้งเดิมออกไป และแสดงออกในรูปแบบทั่วไปยิ่งขึ้น (Generalization) โดยฟัซซีเซตจะแสดงลักษณะของความคลุมเครือ ไม่ชัดเจน โดยการจำกัดขอบเขตในการแบ่งความเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิกอย่างชัดเจนตามหลักการของเซตแบบดั้งเดิมออกไป และกำหนดให้ค่าของความเป็นสมาชิกค่อยๆ มีค่าเพิ่มขึ้นจากความไม่เป็นสมาชิกเลยไปจนถึงระดับที่มีความเป็นสมาชิกเต็มที่ หรือในทางตรงกันข้ามค่าจะค่อยๆ ลดลงจากระดับที่มีความเป็นสมาชิกเต็มที่ไปจนถึงระดับที่ไม่มีความเป็นสมาชิกเลย

ฟัซซีเซต \tilde{A} (ใช้แทนสัญลักษณ์ \sim แสดงฟัซซีเซต) ในเอกภพสัมพัทธ์ U สามารถแสดงได้ในรูปของลักษณะเซตของคู่อันดับ คือ

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)), x \in U\} \quad (4.2)$$

โดย $\mu_{\tilde{A}}(x)$ คือฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ของ \tilde{A} และ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ จะแสดงถึงระดับความเป็นสมาชิกของ x ใน \tilde{A} อาจมองได้ว่า $\mu_{\tilde{A}}(x)$ แสดงถึงการจัดลำดับของวัตถุในลักษณะต่างๆ ใน \tilde{A} โดยรูปที่ 4.1 จะแสดงการเปรียบเทียบลักษณะของเซตแบบดั้งเดิมและฟัซซีเซต



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบระหว่างลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม (Crisp Set) และฟัซซีเซต

ตัวอย่างที่ 4.1 กำหนดให้ U เป็นเอกภพสัมพัทธ์บนเส้นจำนวนจริง และเซต A เป็นเซตของ “จำนวนจริงที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5” จะได้ว่า

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$$

โดยฟังก์ชันคุณสมบัติ (Characteristic Function) สำหรับเซตนี้ คือ

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < 5 \\ 1, & x \geq 5 \end{cases}$$

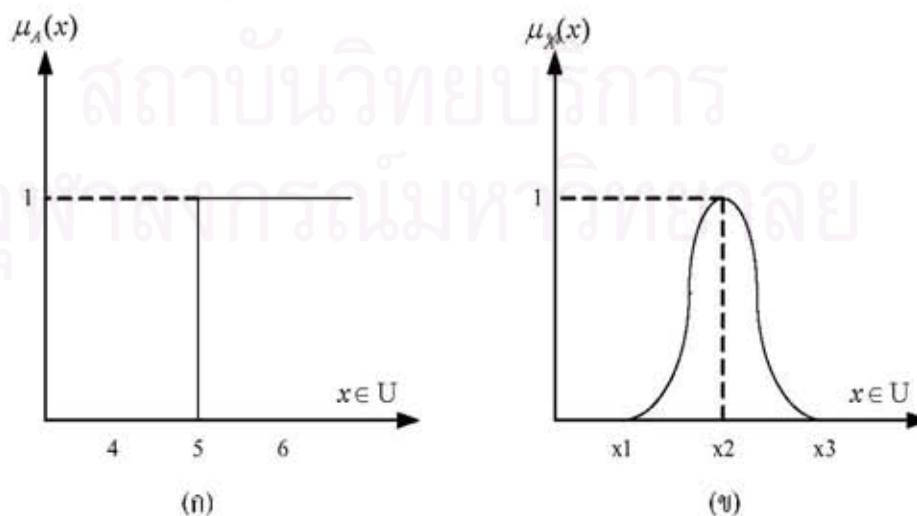
ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ก) ถ้าให้ฟังก์ชันเซต \tilde{A} เป็นเซตของ “จำนวนที่ใกล้เคียง 5” จะได้ว่า

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in U\}$$

โดยในกรณีนี้กำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) คือ

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{1 + 10(x - 5)^2}$$

ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ข) สังเกตว่าเราสามารถเลือกใช้หรือกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้กับ \tilde{A} ได้หลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวผู้กำหนดเองว่าจะกำหนดฟังก์ชันให้มีลักษณะอย่างไร



รูปที่ 4.2 ลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม และฟังก์ชันเซตตามตัวอย่าง 4.1

ทั้งนี้การกำหนดลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นจะขึ้นอยู่กับพิจารณาว่าลักษณะของฟังก์ชันใดเหมาะสมที่สุด ที่จะนำมาอธิบายและจัดลำดับองค์ประกอบหรือวัตถุต่างๆ (x) ใน \tilde{A} เพื่อให้สอดคล้องกับคำนิยามของเซต \tilde{A} นั้น

4.3 α -Cut หรือ α -level ของฟัซซีเซต

α -Cut หรือ α -level ของฟัซซีเซต \tilde{A} คือเซต A (Crisp Set) ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U ที่มีค่าความเป็นสมาชิกใน \tilde{A} มากกว่าหรือเท่ากับ α คือ

$$A_\alpha = \{x \in U, \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha, \alpha \in (0,1]\} \quad (4.3)$$

นอกจากนั้นเซตทุกระดับ $\alpha \in (0,1]$ ที่แสดง α -Cut ที่แตกต่างกันของฟัซซีเซต \tilde{A} จะเรียกว่า Level Set ของ \tilde{A} นั่นคือ

$$A_\alpha = \{\alpha, \mu_{\tilde{A}}(x) = \alpha, \exists x \in U\} \quad (4.4)$$

จะเห็นได้ว่า $\alpha \leq \beta$ แล้ว $A_\beta \subseteq A_\alpha$

4.4 คุณสมบัติความเป็น Convex (Convexity)

ฟัซซีเซตจะมีคุณสมบัติ Convex ก็คือเมื่อแต่ละ α -Cut หรือ α -level ของฟัซซีเซตเป็นเซตที่ Convex กล่าวคือ

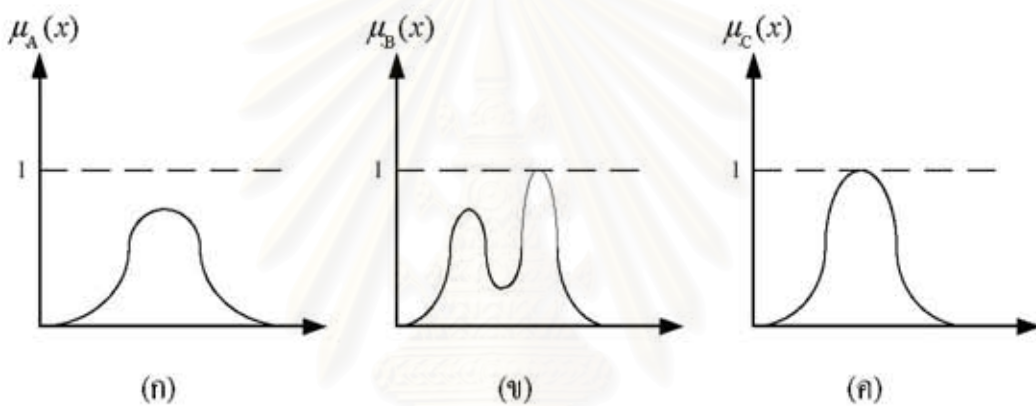
$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1-\lambda)x_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_2)) \quad (4.5)$$

โดยที่ $x_1, x_2 \in U, \lambda \in (0,1]$ จาก (4.5) กล่าวได้ว่าเมื่อเราพิจารณาจุด 2 จุดใดๆ คือ x_1, x_2 ในฟัซซีเซต \tilde{A} และลากเส้นตรงเชื่อมจุด 2 จุดนั้นแล้วค่าความเป็นสมาชิกของทุกๆ จุด (x) บนเส้นตรงจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความเป็นสมาชิกของ x_1 และ x_2 แล้วแต่ค่าใดต่ำกว่ากันนอกจากนี้ พิจารณา

นิยามของความสูงของฟัซซีเซตดังนี้ นิยามความสูงของฟัซซีเซตดังนี้ นิยามความสูงของฟัซซีเซต (Height of Set) คือ

$$\text{Height}(\tilde{A}) \equiv \sup_x \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (4.6)$$

จากนิยามความสูงของฟัซซีเซตตาม (4.6) กล่าวได้ว่าฟัซซีเซตที่ถูก Normalize แล้ว จะมีค่า $\text{Height}(\tilde{A})=1$ รูปที่ 4.3 (ก) แสดงตัวอย่างของฟัซซีเซตที่ Convex แต่ไม่ Normalize รูปที่ 4.3 (ข) แสดงตัวอย่างของฟัซซีเซตที่ Normalize แต่ไม่ Convex และรูปที่ 4.3 (ค) แสดงตัวอย่างของฟัซซีเซตที่ Convex และ Normalize ตามลำดับ



รูปที่ 4.3 ลักษณะความเป็น Convex ของฟัซซีเซต และลักษณะของฟัซซีเซตที่เป็น Normalize

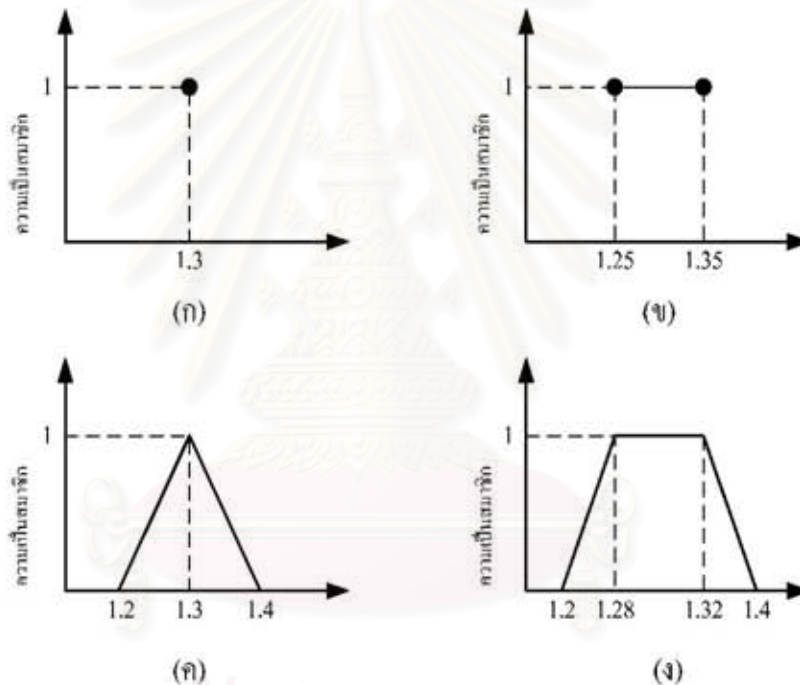
4.5 ตัวเลขฟัซซี (Fuzzy Number)

ตัวเลขฟัซซีคือ ฟัซซีเซตที่ Convex และ Normalize และถูกนิยามบนเส้นจำนวนจริง \mathcal{R} ซึ่งมีลักษณะฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ที่ต่อเนื่องเชิงท่อน (Piecewise continuous) หรือแต่ละ α -Cut เป็นช่วงปิด (Closed Interval) $\mu_{\tilde{A}}(\cdot) : \mathcal{R} \rightarrow [0, 1]$

จากคำนิยามของตัวเลขฟัซซี จะพบว่าตัวเลขฟัซซีจะแสดงถึง “ตัวเลข” จากแนวคิดของการประมาณตัวเลขนั้นๆ โดยอาศัยลักษณะในเชิงคณิตศาสตร์ในรูปของช่วง (Interval) ตัวเลขฟัซซีจะแสดงค่าของข้อความที่แสดงความไม่แน่นอนของตัวเลข เช่น “มีค่าประมาณ 5” หรือ “มีค่าใกล้เคียงกับ 3.4” โดยอาศัยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในการระบุค่าความเป็นสมาชิกให้กับตัวเลขใดๆ บนเส้นจำนวนจริง ที่มีคุณสมบัติสอดคล้องหรือใกล้เคียงกับคำนิยามของข้อความนั้นๆ มากหรือน้อยเพียงใด ตัวเลขฟัซซีที่เป็นบวก คือตัวเลขฟัซซีที่ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์สำหรับทุกค่าของตัวแปรอิสระ x ที่

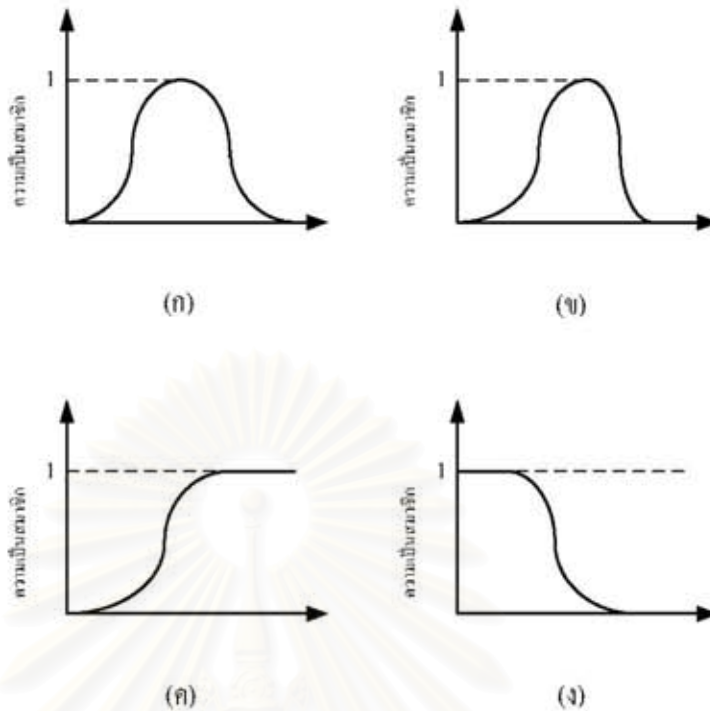
เป็นลบ นั่นคือ $\mu_A(x) = 0, \forall x < 0$ ในทางตรงกันข้าม ตัวเลขฟัซซีที่เป็นลบมีลักษณะ
คือ $\mu_A(x) = 0, \forall x > 0$

นอกจากนี้ตัวเลขธรรมดาหรือช่วงของตัวเลขจำนวนจริงสามารถถูกพิจารณาได้ว่าเป็นกรณีพิเศษของตัวเลขฟัซซี รูปที่ 4.4 (ก) แสดงตัวเลขปรกติที่มีค่า 1.3 รูปที่ 4.4 (ข) แสดงช่วงของจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 1.25 ถึง 1.35 คือ [1.25, 1.35] รูปที่ 4.4 (ค) แสดงตัวเลขฟัซซีรูปสามเหลี่ยม (Triangular Fuzzy Number) ที่แสดงข้อความว่า “มีค่าประมาณ 1.3” และรูปที่ 4.4 (ง) แสดงตัวเลขฟัซซีที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Fuzzy Number) ที่แสดงข้อความที่ว่า “มีค่าอยู่ในช่วง 1.28 ถึง 1.32 และไม่เกิน 1.2 และ 1.4” ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ

ตัวเลขฟัซซีรูปสามเหลี่ยม และตัวเลขฟัซซีรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งก็คือตัวเลขฟัซซีที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามลำดับ จะเป็นตัวเลขฟัซซีที่นิยมใช้กันมากที่สุด นอกจากนี้ก็ยังมีตัวเลขฟัซซีรูปแบบอื่นๆ ที่ใช้กันในบางกรณี เช่น ตัวเลขฟัซซีที่เป็นรูประฆัง (Bell-Shaped) ซึ่งมีทั้งแบบสมมาตร และไม่สมมาตรดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) และ (ข) ตัวเลขฟัซซีที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เพิ่มขึ้นอย่างเดียว หรือลดลงอย่างเดียว ซึ่งสื่อถึงข้อความที่ว่า “ตัวเลขค่ามาก” (Large Number) และ “ตัวเลขค่าน้อย” (Small Number) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ค) และ (ง)



รูปที่ 4.5 ตัวเลขฟัซซีแบบอื่นๆ ที่ใช้

4.6 Defuzzification

Defuzzification คือ การเปลี่ยนตัวเลขฟัซซีให้เป็นตัวเลขธรรมดาที่มีค่าๆ หนึ่ง วิธีการ Defuzzification มีด้วยกันหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวเพียง 3 วิธีคือ

4.6.1 วิธีจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Center of Area Method)

วิธีนี้อาจเรียกว่า Center of Gravity Method หรือ Centroid Method พื้นที่ๆ อยู่ใต้กราฟ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่เท่าๆ กัน 2 พื้นที่ ค่าที่ได้จากการ Defuzzification คำนวณได้ (4.7)

$$d_{CA}(C) = \frac{\int_{-c}^c C(z)zdz}{\int_{-c}^c C(z)dz} \quad (4.7)$$

ในกรณีที่เป็น Discrete จะคำนวณได้จาก (4.8) โดยที่ C ถูกนิยามบนเอกภพสัมพัทธ์จำกัด (Finite Universal Set) $\{z_1, z_2, \dots, z_n\}$

$$d_{CA}(C) = \frac{\sum_{k=1}^n C(z_k)z_k}{\sum_{k=1}^n C(z_k)} \quad (4.8)$$

4.6.2 วิธีศูนย์กลางของค่ามากที่สุด (Center of Maxima Method)

ในวิธีนี้ค่าที่ได้จากการ Defuzzification จะถูกนิยามเหมือนกับค่าเฉลี่ยของค่าที่เล็กที่สุดและค่าที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d_{CM}(C) = \frac{\inf M + \sup M}{2} \quad (4.9)$$

โดยที่

$$M = \{z \in [-c, c], C(z) = h(C)\} \quad (4.10)$$

ในกรณีที่เป็น Discrete จะคำนวณได้จากสมการ

$$d_{CM}(C) = \frac{\min\{z_k, z_k \in M\} + \max\{z_k, z_k \in M\}}{2} \quad (4.11)$$

โดยที่

$$M = \{z_k, C(z) = h(C)\} \quad (4.12)$$

4.6.3 วิธีค่ากลางของค่ามากที่สุด (Mean of Maxima Method)

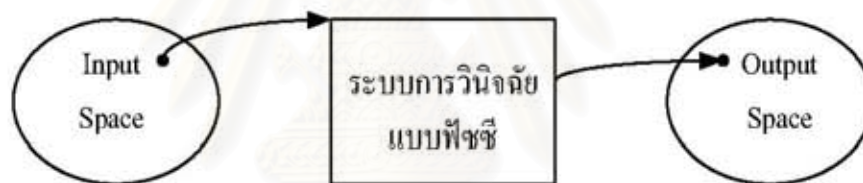
โดยทั่วไปวิธีนี้จะใช้กับกรณีที่เป็น Discrete ค่าที่ได้จากการ Defuzzification เป็นค่าเฉลี่ยของทุกๆค่าในเซตธรรมดา M ที่ได้นิยาม (38) ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$d_{MM}(C) = \frac{\sum_{z_k \in M} z_k}{|M|} \quad (4.13)$$

ในกรณีที่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง M จะถูกนิยามตาม (4.13) $d_{MM}(C)$ อาจจะนิยามโดยค่าเฉลี่ยทาง
 ครอบงำของค่ากลางของรอบทั้งหมดที่อยู่ใน M หรืออีกวิธีหนึ่ง $d_{MM}(C)$ อาจจะนิยามโดยค่าเฉลี่ยของ
 ค่ากลางของระบบ

4.7 ตรรกแบบฟัซซีและระบบการวินิจฉัยแบบฟัซซี (Fuzzy Logic and Fuzzy Inference System)

ตรรกแบบฟัซซีเป็นแนวคิดที่ได้จากการขยายหลักการของทฤษฎีตรรกแบบดั้งเดิม (Two -
 Value Logic) ออกไป [17], [19] เช่นเดียวกับกรณีฟัซซีเซตซึ่งเป็นแนวคิดที่ได้จากการขยายหลักการ
 หรือเซตแบบดั้งเดิมออกไป ตรรกแบบฟัซซีสามารถถูกใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างระบบที่มีคุณสมบัติที่
 สามารถเชื่อมโยงค่าจากกลุ่มอินพุตหนึ่งไปยังกลุ่มของค่าเอาต์พุตหนึ่งได้ ซึ่งเรียกว่า “ระบบฟัซซี หรือ
 ระบบวินิจฉัยแบบฟัซซี (Fuzzy Inference System : FIS)” การใช้ตรรกแบบฟัซซีในกรณีนี้จะเป็นวิธีที่
 ง่าย รวดเร็ว และสะดวกกว่าการใช้วิธีอื่น ยกตัวอย่างเช่น นิวรอลเน็ตเวิร์ค (Neural Network) เป็นต้น



รูปที่ 4.6 การเชื่อมโยงจากกลุ่มของค่าอินพุตไปยังกลุ่มค่าเอาต์พุต โดยระบบ FIS

คุณสมบัติของตรรกแบบฟัซซีสามารถสรุปได้ดังนี้ [17]

1. หลักการของตรรกแบบฟัซซีง่ายต่อการทำความเข้าใจ และอยู่บนพื้นฐานที่ไม่ยุ่งยาก
2. มีความยืดหยุ่นในการนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลายประเภท
3. ตรรกแบบฟัซซีสามารถจำลองฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่มีความซับซ้อนได้ในรูปของระบบฟัซซี (Fuzzy System) โดยมีความสะดวก ง่ายต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพ
4. สามารถนำไปใช้ในงานที่เกี่ยวกับ “การตัดสินใจ” ที่คำนึงถึงผลความไม่แน่นอนของข้อมูลได้ดี
5. พื้นฐานของตรรกแบบฟัซซีเป็นพื้นฐานเดียวกันกับสิ่งที่มนุษย์คุ้นเคย คือการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในตรรกแบบฟัซซีจะอยู่ในรูปของ “ตัวแปรเชิงภาษา”

ตัวแปรเชิงภาษาเป็นองค์ประกอบสำคัญของตรรกแบบฟัซซี ตัวแปรเชิงภาษาคือ การกำหนดนิยามของตัวแปรที่อ้างอิงเชิงภาษา ที่มีค่าเป็นค่าหรือประโยคซึ่งสอดคล้องกับความรู้สึกหรือความเข้าใจของคนทั่วไปตามความหมายของตัวภาษานั้น เช่น การอธิบายถึงความเร็ว โดยคำว่า “เร็ว (Fast)” “ปานกลาง (Moderate)” และ “ช้า (Slow)” ในที่นี้คำว่า เร็ว ปานกลาง และ ช้า ที่ใช้อธิบายถึงความเร็วก็คือ ค่าของตัวแปรเชิงภาษา “ความเร็ว” นั้นเอง

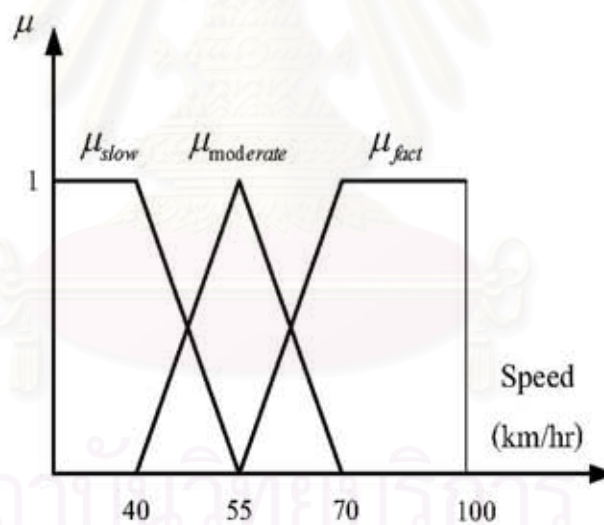
รูปที่ 4.7 เป็นตัวอย่างของการกำหนดค่าของตัวแปรเชิงภาษา “ความเร็ว” โดยใช้นิยามของทฤษฎีฟัซซีเซต ตามรูปที่ 4.7 “ความเร็ว” เป็นตัวแปรเชิงภาษาโดยมีเอกภพสัมพัทธ์ $U = [0,100]$

โดย

“ช้า (Slow)” เป็นฟัซซีเซตสำหรับความเร็วที่ต่ำกว่า 40 กม./ชม. ด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_{slow}

“ปานกลาง (Moderate)” เป็นฟัซซีเซตสำหรับความเร็วประมาณ 55 กม./ชม. ด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu_{moderate}$ และ

“เร็ว (Fast)” เป็นฟัซซีเซตสำหรับความเร็วที่สูงกว่า 70 กม./ชม. ด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก μ_{fast} ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างของการกำหนดค่าของตัวแปรเชิงภาษา “ความเร็ว”

4.7.1 ตัวดำเนินการเชิงตรรก (Logic Operation)

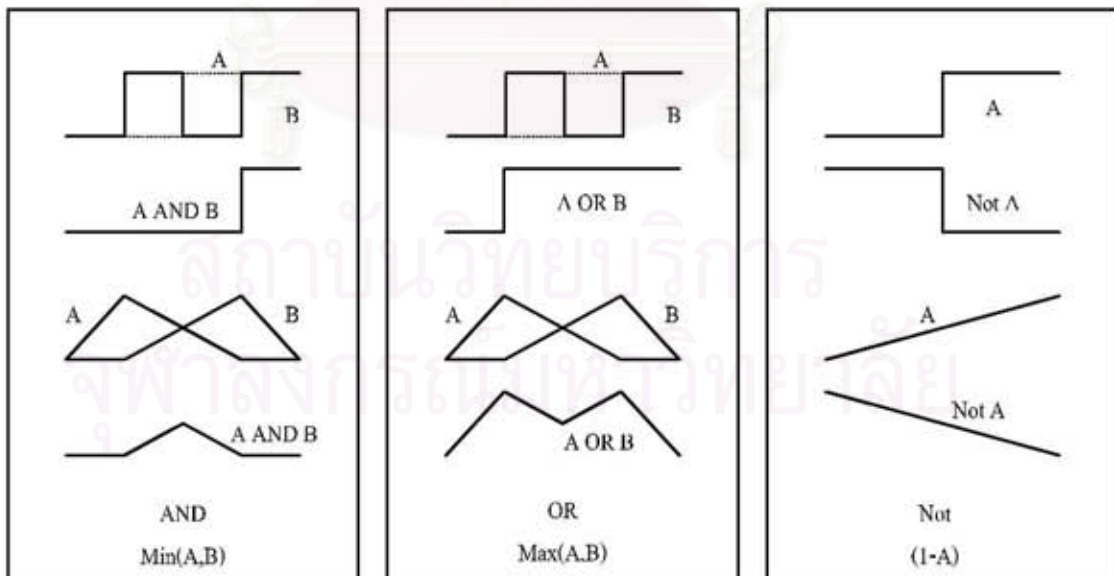
ตรรกแบบฟัซซีเป็นหลักการที่ครอบคลุมทฤษฎีตรรกแบบดั้งเดิม (Boolean Logic) หลักการของตรรกฟัซซีจะขยายค่าของตรรกเดิมที่มีแค่ 1 และ 0 ไปเป็นช่วงของจำนวนจริงตั้งแต่ 0 ถึง 1 คือ $[0,1]$ ตัวดำเนินการพื้นฐานเชิงตรรก ได้แก่ AND, OR, และ NOT ระหว่างเซต A และ B คือ $(A \text{ AND } B)$

, (A OR B) และ (NOT A) จะเปลี่ยนเป็นฟังก์ชัน MIN, MAX และ (1-A) ตามลำดับดังแสดงได้โดยการเปรียบเทียบตารางความจริง (Truth Table) ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบตารางความจริงของตัวดำเนินการเชิงตรรกพื้นฐานแบบดั้งเดิมกับตัวดำเนินการเชิงตรรกพื้นฐานแบบพีชชี

A	B	AND		OR		NOT	
		A AND B	Min(A,B)	A OR B	Max(A,B)	Not A	(1-A)
0	0	0	0	0	0	1	1
0	1	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	0

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าตัวดำเนินการเชิงตรรกแบบพีชชีนั้น สามารถนำไปใช้กับเซตแบบดั้งเดิมได้ เพราะผลลัพธ์เหมือนกับกรณีที่ได้จากตัวดำเนินการแบบดั้งเดิม รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างตัวดำเนินการเชิงตรรกทั้ง 2 ประเภทในรูปของแผนภาพซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนถึงหลักการตรรกแบบพีชชีที่กำหนดให้ค่าของตรรกมีค่าเป็นช่วงของเลขจำนวนจริงตั้งแต่ 0 ถึง 1



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบระหว่างตัวดำเนินการเชิงตรรกแบบพีชชีและแบบดั้งเดิม

4.7.2 ระบบวินิจฉัยแบบฟัซซี (Fuzzy Inference System : FIS)

ระบบวินิจฉัยแบบฟัซซีเป็นกระบวนการในการเชื่อมโยงค่าจาก อินพุตที่กำหนดค่าหนึ่งไปยัง เอาท์พุตค่าหนึ่งโดยการใช้ตรรกแบบฟัซซีในการพิจารณา [17], [20] ระบบ FIS ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในด้านของการควบคุมอัตโนมัติ การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Data Classification) การวิเคราะห์การตัดสินใจ (Decision Analysis) เป็นต้น นอกจากนี้ ระบบ FIS อาจจะถูกเรียกเป็นชื่ออื่นได้ขึ้นอยู่กับงานที่นำไปใช้ เช่น ระบบ Fuzzy-Rule-Based ระบบผู้เชี่ยวชาญเชิงฟัซซี (Fuzzy Expert System) เป็นต้น ระบบ FIS สามารถมีอินพุตได้หลายอินพุต และมีเอาท์พุตได้หลายเอาท์พุตขึ้นกับจุดประสงค์ในการใช้งาน แต่โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีเอาท์พุตเพียงตัวเดียว

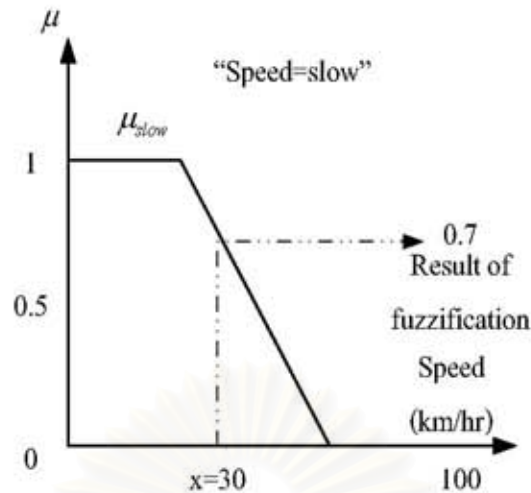
กระบวนการของระบบ FIS แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ได้แก่ [17], [20]

1. การทำ Fuzzification กับตัวแปรอินพุต
2. การดำเนินการเชิงตรรกฟัซซี (AND, OR, NOT) ตามกฎ “If-Then” ที่กำหนดไว้
3. การเชื่อมโยงจากส่วนของ “เหตุ” ไปยังส่วนของ “ผล” ของแต่ละกฎ
4. การรวม (Aggregation) ผลลัพธ์ที่ได้จากทุกๆ กฎรวมกัน
5. การทำ Defuzzification เพื่อหาผลลัพธ์สุดท้าย

ดังรายละเอียดที่จะกล่าวดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1.การทำ Fuzzification กับตัวแปรอินพุต

ค่าอินพุตแต่ละค่าจะถูกพิจารณาว่ามีระดับดีกรีเท่าใดที่จะสอดคล้องและเหมาะสมที่จะอยู่ในเซตของตัวแปรเชิงภาษาที่กำหนดขึ้น โดยการพิจารณาฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซตที่แสดงถึงค่าของตัวแปรเชิงภาษานั้น ลักษณะของอินพุตจะเป็นตัวเลขธรรมดาโดยมีค่าอยู่ในขอบเขตจำกัดที่กำหนดเอาไว้ ค่าเอาท์พุตที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือระดับความเป็นสมาชิกที่ค่าอินพุตควรจะอยู่ในเซตที่กำลังพิจารณาซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1



รูปที่ 4.9 การทำ Fuzzification กับตัวแปรอินพุต

รูปที่ 4.9 เป็นตัวอย่างการพิจารณาค่าอินพุตค่าหนึ่งที่อยู่ในเซตของคำว่า “ช้า” ซึ่งเป็นค่าของตัวแปรเชิงภาษา “ความเร็ว” โดยมีขอบเขตที่พิจารณาหรือเอกภพสัมพัทธ์คือ $U = [0, 100]$ จากตัวอย่างความเร็วที่มีค่าเท่ากับ 30 กม./ชม. มีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของคำว่า “ช้า” เท่ากับ 0.7

ส่วนที่ 2. การดำเนินการเชิงตรรกพีชคณิต (AND, OR, NOT) ตามกฎ “If-then” ที่กำหนดไว้

เพื่อนำไปสู่การได้ผลลัพธ์สุดท้าย ตัวแปรอินพุตกับตัวแปรเอาต์พุตจะถูกเชื่อมโยงกัน โดยอาศัยกฎที่กำหนดขึ้นมาตามต้องการเรียกว่า “If-then” ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของประโยค

“If x is A then y is B” หรือ “ถ้า x เท่ากับ A แล้ว y เท่ากับ B”

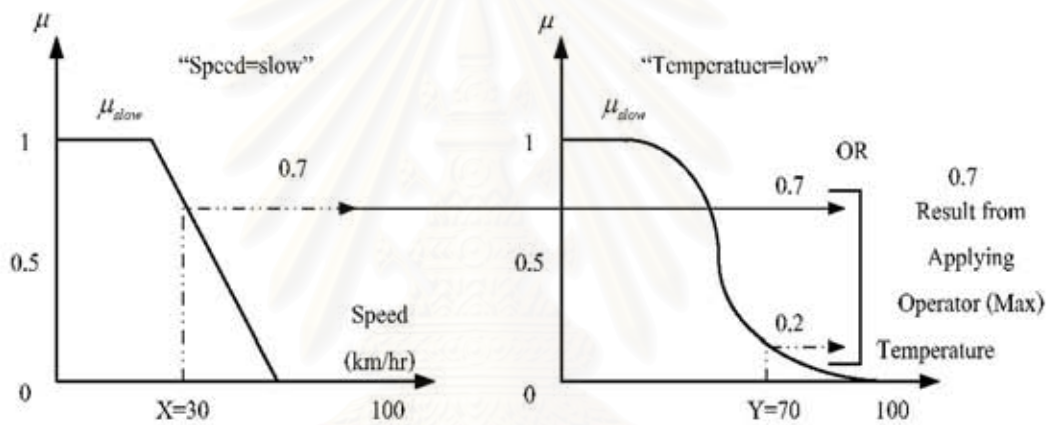
โดยถ้า A และ B คือ ค่าเชิงภาษา ซึ่งเป็นพีชคณิตที่มีขอบเขตอยู่บนช่วงที่เป็นไปได้ของตัวแปรอินพุต x และตัวแปรเอาต์พุต y ตามลำดับ ส่วนแรกของกฎ “x เท่ากับ A” จะถูกเรียกว่า “เหตุ (Antecedent)” ส่วนหลังของกฎ “y เท่ากับ B” จะถูกเรียกว่า “ผล (Consequent)” ยกตัวอย่างเช่น

ถ้า “ความเร็วรถยนต์ = ช้า” แล้ว “อัตราการจ่ายน้ำมัน = ต่ำ”

ในกรณีทีมีส่วนของเหตุประกอบด้วยตัวแปรอินพุตหลายตัว ตัวแปรอินพุตเหล่านั้นจะถูกเชื่อมโยงด้วยตรรก AND หรือ OR และจะถูกดำเนินการตามตรรกแบบพีชชี Min และ Max สอดคล้องกับกฎที่เขียนไว้ ดังรูปที่ 4.10 แสดงการประมวลผลในส่วนที่ 2 นี้ ตามกฎที่ว่า

ถ้า “ความเร็วรถยนต์= ช้า” หรือ “อุณหภูมิเครื่องยนต์ = ต่ำ” แล้ว “อัตราการจ่ายน้ำมัน = ต่ำ”

จะเห็น ได้ว่าจากกฎนี้มีตัวแปรอินพุต 2 ตัวคือ ความเร็ว และอุณหภูมิ ถูกเชื่อมด้วยคำว่า “หรือ” ซึ่งก็คือการใช้ฟังก์ชัน Max กับอินพุต 2 ตัวนี้ ในกรณีนี้ตัวแปรอินพุตที่ 2 “อุณหภูมิ” มีเอกภพสัมพัทธ์คือ $U = [0, 100]$

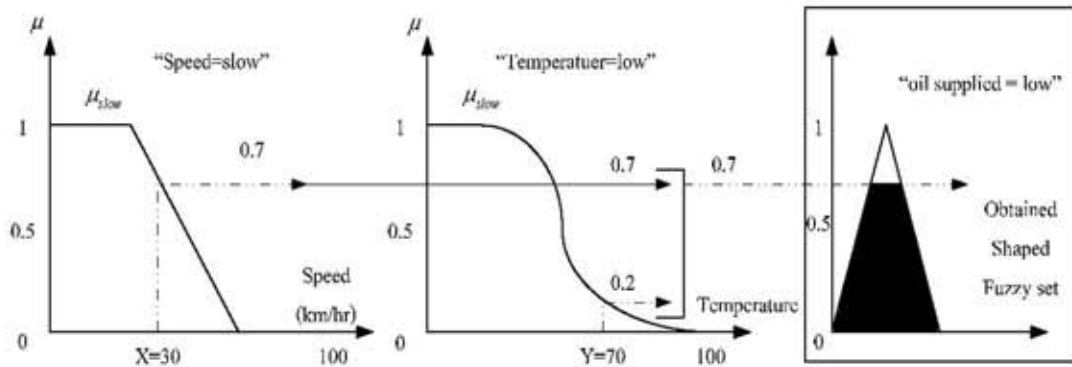


รูปที่ 4.10 การดำเนินการทางตรรกแบบพีชชีตามกฎ “If-then” ที่กำหนดไว้

ในรูปที่ 4.10 จากการทำ Fuzzification กับตัวแปรอินพุต (ขั้นที่ 1) ค่าความเป็นสมาชิกสำหรับค่าอินพุตจากทั้ง 2 ตัวแปร มีค่าเท่ากับ 0.7 และ 0.2 ตามลำดับ โดยที่ค่าอุณหภูมิเท่ากับ 70 องศา มีค่าความเป็นสมาชิกสำหรับตัวแปร “อุณหภูมิ = ต่ำ” เท่ากับ 0.2 เมื่อเราพิจารณาค่าที่ได้ คือ 0.7 และ 0.2 โดยใช้ฟังก์ชัน Max ก็จะได้ผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 2 ซึ่งจากตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 0.7

ส่วนที่ 3. การเชื่อมโยงจากส่วนของ “เหตุ” ไปยังส่วนของ “ผล” ของแต่ละกฎ

ผลลัพธ์ที่ได้จากส่วนนี้จะเป็นส่วนของ “ผล” ที่เชื่อมโยงจากส่วนของ “เหตุ” ตามกฎแต่ละข้อที่กำหนดขึ้น ดังแสดงดังรูปที่ 4.11



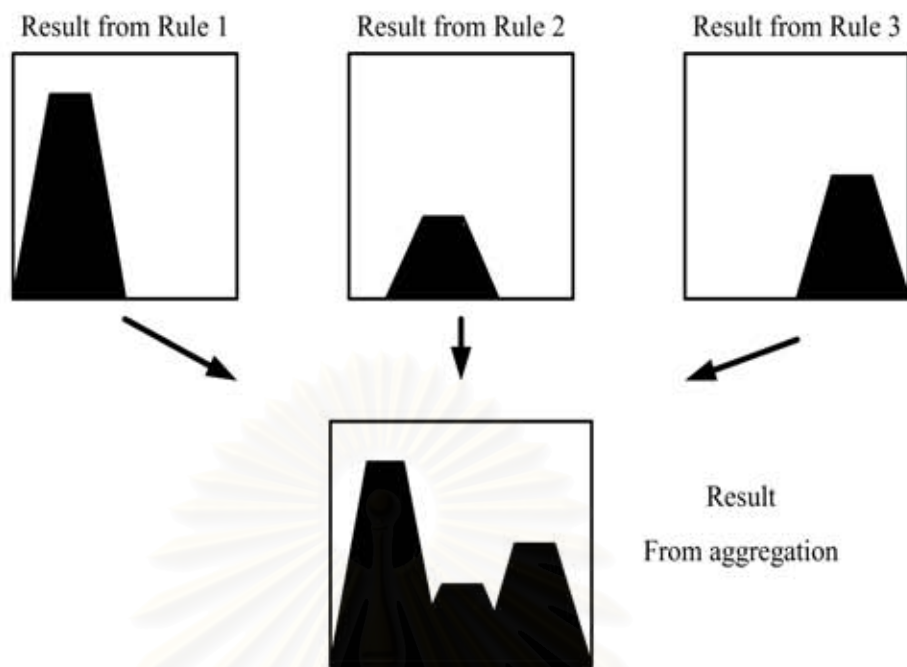
รูปที่ 4.11 การเชื่อมโยงจากส่วนของ“เหตุ” ไปยังส่วนของ “ผล” ตามกฎที่กำหนดขึ้น

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าผลที่ได้จะอยู่ในรูปของฟัซซีเซตที่เป็นส่วนที่ได้หลังจากการใช้ตัวดำเนินการ AND กับค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นตัวเลขปรกติ (ในตัวอย่างนี้คือ 0.7) และฟัซซีเซตของตัวแปรเอาต์พุต “การจ่ายน้ำมัน = ต่ำ” ผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 3 นี้ได้แก่ ฟัซซีที่ถูกตัดยอด ณ ค่าความเป็นสมาชิกตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป (ส่วนที่แรเงา) อาจกล่าวได้ว่าขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำให้ “ผล” ตามกฎที่ระบุไว้ในรูปของฟัซซีเซตที่มีรูปร่างขึ้นอยู่กับค่าของ “เหตุ” จากขั้นตอนที่ 2 ที่เป็นตัวเลขปรกติ

ส่วนที่ 4. การรวม (Aggregation) ผลลัพธ์ที่ได้จากทุกๆ กฎเข้าด้วยกัน

ในขั้นตอนที่ 4 นี้ผลลัพธ์ในรูปของฟัซซีเซตจากขั้นตอนที่ 3 ของแต่ละกฎที่กำหนดขึ้นจะถูกรวมเข้าด้วยกันกลายเป็นฟัซซีเซตเพียงเซตเดียว โดยการใช้ตัวดำเนินการ Max กับผลลัพธ์แต่ละกฎเหล่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.12 จากรูปที่ 4.12 ระบบ FIS มีกฎทั้งหมด 3 กฎ

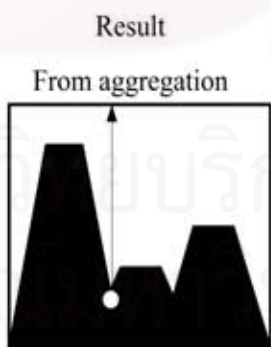
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 การรวม (Aggregation) ผลลัพธ์ที่ได้จากทุกๆ กฎเข้าด้วยกัน

ส่วนที่ 5. การทำ Defuzzification เพื่อหาผลลัพธ์สุดท้าย

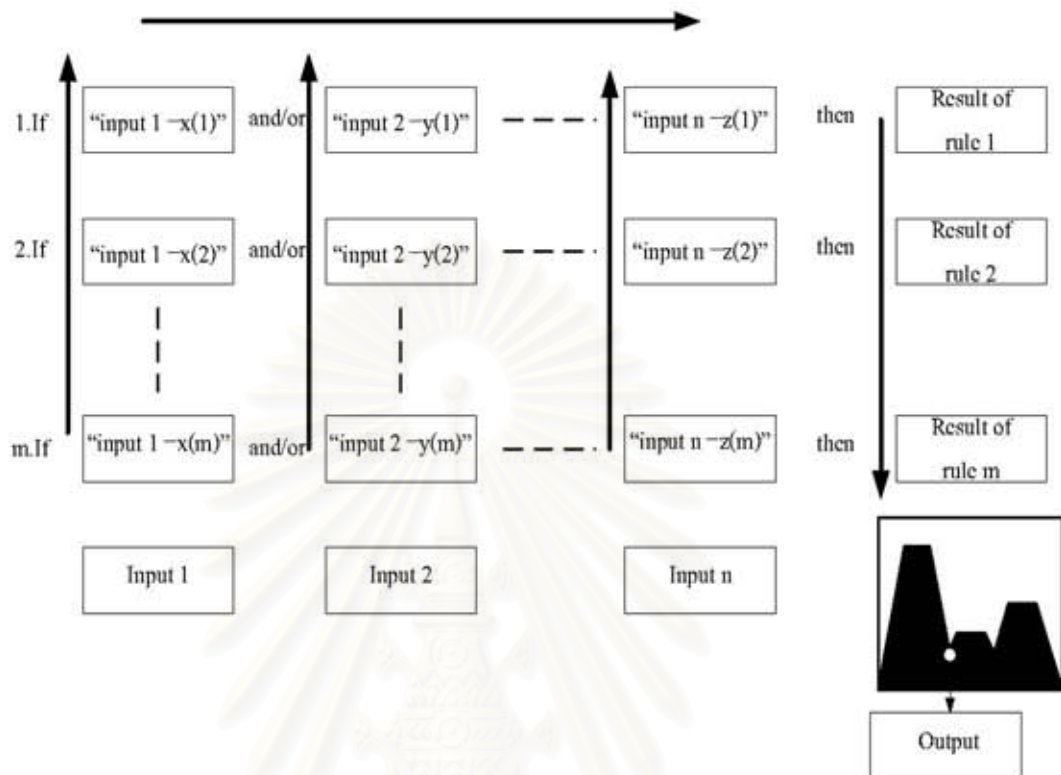
ในขั้นตอนที่ 5 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ฟัซซีเซตซึ่งเป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 4 จะถูกทำกลับให้เป็นเลขธรรมดาที่มีค่าหนึ่งๆ เรียกว่า Defuzzification วิธีการ Defuzzification มีหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมมากที่สุดคือ การคำนวณจุดศูนย์กลางพื้นที่ของรูป (Centroid) ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การทำ Defuzzification

ในรูปที่ 4.13 จุดที่แสดงคือ จุดศูนย์กลางของพื้นที่ ผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีตัวอย่างนี้ก็คืออัตราการจัดน้ำมันซึ่งเป็นตัวเลขปรกติ ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเป็นผลลัพธ์สุดท้ายและเอาท์พุทของระบบ FIS เมื่อมีค่าอินพุตเข้ามาค่าหนึ่ง

โดยสรุปจากที่ได้อธิบายข้างต้น ระบบ FIS จะมีภาพรวมดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กระบวนการคำนวณค่าของระบบ FIS ที่มี m กฎ n อินพุต และ 1 เอาท์พุท

จากรูปที่ 4.14 กระบวนการจะเริ่มขึ้นจากการพิจารณาค่าของอินพุตแต่ละตัว และผ่านไปตามแถวแต่ละแถว ซึ่งก็คือ กฎแต่ละกฎ และผ่านลงมาตามเอาท์พุทที่ได้จากกฎแต่ละกฎ จนถึงทางขวาด้านล่างซึ่งก็คือ ผลลัพธ์สุดท้ายและเป็นจุดสิ้นสุดของกระบวนการ

4.8 ความคลุมเครือในแบบจำลองโหลด

ความคลุมเครือสามารถมาได้จากหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นผลมาจากการประมาณค่า หรือแม้แต่การพยากรณ์โหลดล่วงหน้า (Load Forecast) ดังนั้น ในที่นี้จึงคิดผลของความคลุมเครือ โดยค่าดังกล่าวจะถูกแบ่งอยู่ในรูปของข้อมูลโหลด ซึ่งอาศัยทฤษฎีที่ขี้นเขตในการสร้างแบบจำลองโหลดที่มีความคลุมเครือ ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักในการจำลองผลความคลุมเครือของโหลดเพื่อศึกษาผลที่มีต่อค่ากำลังส่งรวม

4.8.1 การวิเคราะห์ผลของความคลุมเครือของโหลดด้วยทฤษฎีฟังก์ชันเซต

$$\text{ฟังก์ชันเป้าหมาย Max or Min } TTC = \sum_{i=1}^{N_SK} P_{Di}(\lambda_{max}) - \sum_{i=1}^{N_SK} P_{Di}^o \quad (4.14)$$

โดย

$P_{Di}(\lambda_{max})$ คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i เมื่อ $\lambda = \lambda_{max}$

P_{Di}^o คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i เมื่อ $\lambda = 0$

N_SK คือ จำนวนบัสในพื้นที่รับโหลด

สมการการคำนวณเพนเวอร์โพล์โดยทั่วไป

$$P_{Gi} - P_{Di} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) = 0 \quad (4.15)$$

$$Q_{Gi} - Q_{Di} - \sum_{j=1}^n U_i U_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) = 0 \quad (4.16)$$

เงื่อนไขจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (4.17)$$

$$|U_i|_{\min} \leq U_i \leq |U_i|_{\max} \quad (4.18)$$

$$|S_{ij}| \leq |S_{ij}|_{\max} \quad (4.19)$$

$$(P_{Di})^L \leq (P_{Di}) \leq (P_{Di})^R \quad (4.20)$$

$$(Q_{Di})^L \leq (Q_{Di}) \leq (Q_{Di})^R \quad (4.21)$$

โดยที่

U_i คือ ค่าขนาดแรงดันที่บัส i

$|U_i|_{\min}$ คือ ค่าขนาดแรงดันต่ำที่บัส i สุก่อนจะเลขขีดจำกัด

$|U_i|_{\max}$ คือ ค่าขนาดแรงดันสูงสุดที่บัส i ก่อนจะเลขขีดจำกัด

$|S_{ij}|$ คือ ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสาย i และ j

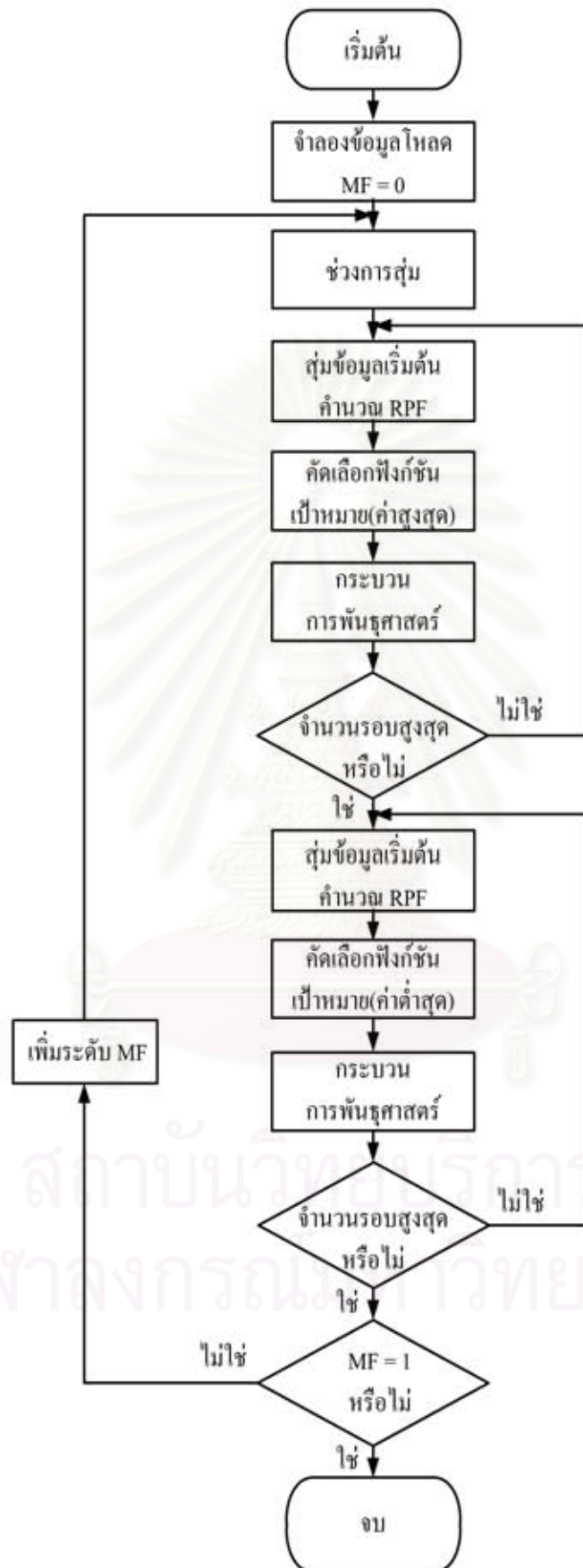
- $|S_{ij}|_{\max}$ คือ ขนาดของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถไหลในสาย i และ j
- P_{G_i} คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่าย ณ บัส i
- $P_{G_i}^{\min}$ คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i จ่ายกำลังได้น้อยที่สุด
- $P_{G_i}^{\max}$ คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i จ่ายกำลังได้มากที่สุด
- $(P_D)^L, (Q_D)^L$ คือความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่มีความคลุมเครือ โดยคิดทางด้านซ้าย ตามหลักการของ α -Cut
- $(P_D)^R, (Q_D)^R$ คือความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่มีความคลุมเครือ โดยคิดทางด้านขวา ตามหลักการของ α -Cut

ในงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการหาค่าความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าแบบบัสต่อบัส ดังนั้นในฟังก์ชันเป้าหมายตาม (4.14) จำนวนบัสในพื้นที่รับโหลดจึงมีแค่บัสเดียวเท่านั้น

โดยหลังจากที่สามารถจำลองรูปแบบความคลุมเครือของโหลดได้แล้ว จะต้องใช้หลักการของ α -Cut ในทฤษฎีฟัซซีเซตมาช่วย โดยในแต่ละระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (MF) จะสามารถคำนวณค่า TTC ได้ 2 ค่า คือค่า \max และ \min ดังนั้นจะต้องจัดรูปแบบปัญหาให้อยู่ในรูปค่าสูงสุดและต่ำสุด โดยวิธีการหาค่าความเหมาะสมดังกล่าวในที่นี้เลือกการใช้กระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งในแต่ละระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จะสามารถหาค่าสูงสุด และต่ำสุดได้ จากนั้นก็จะทำการเปลี่ยนระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีค่าเท่ากับ 1 ก็จะสามารถพิจารณาผลของค่ากำลังส่งรวมที่คิดผลของความคลุมเครือแต่เนื่องจากค่าที่ออกมายังอยู่ในรูปของตัวเลขฟัซซี ดังนั้นจึงจะต้องทำการแปลงค่าดังกล่าวเป็นค่าจริงโดยการทำ Defuzzification

ขั้นตอนการดำเนินการหาค่ากำลังส่งรวม โดยการจำลองโหลดด้วยฟัซซีเซตมีดังนี้

1. สร้างข้อมูลความคลุมเครือของ โหลด โดยใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต
2. ประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตร่วมกับ α -Cut เพื่อวิเคราะห์หาความคลุมเครือของ โหลดที่มีต่อค่า TTC โดยในแต่ละระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามารถคำนวณค่า TTC ได้ 2 จุด
3. ส่วนการการทำอปติไมซ์ จะใช้วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมร่วมกับ โปรแกรมคำนวณเพาเวอร์ฟลิวแบบซ้ำ (RPF)
4. เปลี่ยนระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกไปจนสามารถมีค่าเท่ากับ 1
5. ทำการเปลี่ยนค่า TTC ที่อยู่ในรูปของฟัซซีเซต ให้เป็นค่าจริง โดยผ่านการ Defuzzification แบบ Centroid of Area Method



รูปที่ 4.15 การวิเคราะห์ความคลุมเครือของโหลดโดยฟัซซีเซตร่วมกับการคำนวณเพาเวอร์โพล์แบบซ้ำ

4.9 สรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการฟัซซีเซตร่วมกับการคำนวณเพาเวอร์โพลีแบบซ้ำ เพื่อพิจารณาผลกระทบของความคลุมเครือของโหลดที่มีต่อการคำนวณค่ากำลังส่งรวม โดยจะนำเสนอข้อมูลดังกล่าวในรูปของตัวเลขฟัซซีที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีลักษณะต่างๆ โดยข้อมูลในแต่ละลักษณะจะมีการปรับระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (MF) ระดับเดียวกัน โดยจะทำการปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทีละ 0.25 จาก 0 ถึง 1 ดังนั้นในแต่ละลักษณะก็สามารถปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้ 5 ระดับคือ 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 โดยในแต่ละจุดของการปรับระดับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามารถคำนวณค่ากำลังส่งรวมได้ 2 ค่า ยกเว้นที่ระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 จะคิดผลเหมือนในกรณีปกติ เมื่อเราทราบขอบเขตของค่ากำลังส่งรวมในรูปของตัวเลขฟัซซีแล้ว ก็จะทำการเปลี่ยนตัวเลขฟัซซีไปเป็นตัวเลขธรรมดา โดยการ Defuzzify ตามหัวข้อ 4.6.1



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการคำนวณค่ากำลังส่งรวมโดยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โพลว์แบบซ้ำ

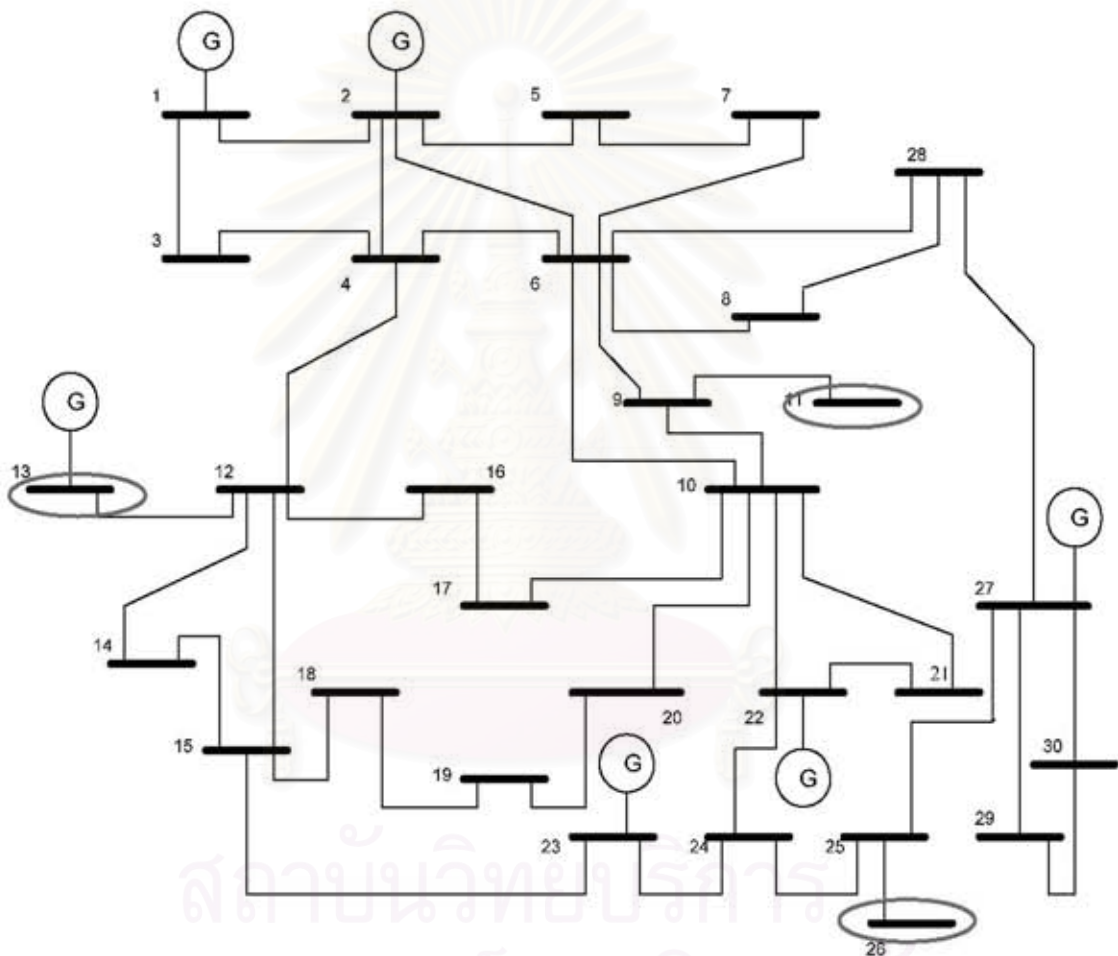
บทนี้กล่าวถึงผลการคำนวณค่ากำลังส่งรวมแบบบัสต่อบัส โดยอาศัยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โพลว์แบบซ้ำ ซึ่งผลที่ได้ถูกนำไปใช้ในการอ้างอิงผลที่คำนวณจาก GA ซึ่งจะแสดงในลำดับถัดไป โดยโปรแกรม MATPOWER3.0 ได้ถูกดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับการคำนวณค่ากำลังส่งรวม และถูกนำไปใช้กับระบบทดสอบ 2 ระบบคือ IEEE 30 บัส และ ระบบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) โดยข้อมูลของระบบทั้ง 2 จะแสดงอยู่ในส่วนของภาคผนวก ก และ ข

ข้อกำหนดของการทดสอบ

1. ระบบทดสอบที่ใช้ในการคำนวณ คือ ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และ ระบบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)
2. การคำนวณค่ากำลังส่งรวมมีการพิจารณาผลในกรณีเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ 1 ตัว (สายส่งหลุด 1 เส้น)
3. ขีดจำกัดที่พิจารณาคือ พิกัดของสายส่ง พิกัดของแรงดัน และค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4. การเพิ่มขึ้นของโหลดจะ เพิ่มขึ้นแบบตัวประกอบกำลังคงที่
5. การคำนวณค่ากำลังส่งรวมจะคิดระหว่างบัสต่อบัสเท่านั้น
6. การติดตั้งอุปกรณ์ FACTS คือ TCSC และ SVC จะคิดในระบบทดสอบทีละชนิดเท่านั้น
7. TCSC สามารถปรับค่ารีแอกแตนซ์ได้ภายในช่วง -0.04 ถึง 0.04 p.u. โดยข้อมูลสามารถปรับได้ช่วงละ 0.02 p.u.
8. SVC จะติดตั้งเฉพาะโหลดบัสเท่านั้นและ บัสที่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ SVC จะถูกเปลี่ยนเป็น PV บัส โดยจะถูกเปลี่ยนกลับเป็น PQ บัสอีกครั้งเมื่อต้องจ่ายกำลังรีแอกทีฟมากกว่าขีดจำกัด
9. SVC สามารถชดเชยกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟภายในช่วง 0 ถึง 100 MVAR โดยข้อมูลสามารถปรับได้ช่วงละ 20 MVAR

5.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่ใช้มีองค์ประกอบดังนี้ คือ มี 30 บัส สายส่ง 41 เส้น เครื่องกำเนิด 6 ตัว โดยในการทดสอบได้มีการปรับข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 30 บัส โดยทำการยกเลิกบัส 11, 13, 26 โดยแสดงดังรูปที่ 5.1 ซึ่งข้อมูลที่ถูกปรับจะมีองค์ประกอบดังนี้ คือ มี 27 บัส สายส่ง 38 เส้นและ เครื่องกำเนิด 6 ตัวโดยข้อมูลที่เปลี่ยนจะแสดงในภาคผนวก ก



รูปที่ 5.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

โดยกำหนดให้ Source Bus (บัสต้นทาง) เป็นบัสอ้างอิงของระบบทดสอบในที่นี้คือ บัสหมายเลข 1 และ Sink Bus (บัสปลายทาง) ของระบบทดสอบในที่นี้คือ บัสหมายเลข 7 โดยผลการทดสอบจะถูกนำเสนอเพียง 10 ตัวอย่าง จากเหตุการณ์ทั้งหมด 38 ตัวอย่างผลการคำนวณที่เหลือแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 5.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

Case	ความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้า (MW)
กรณีปกติ	109.14
กรณีเหตุขัดข้อง (สายส่งหลุด)	23.305

ค่ากำลังส่งรวมจะถูกพิจารณาจาก โครงสร้างของระบบที่มีอยู่เดิมหรือวางแผนไว้ ในภาวะปรกติจะต้องสามารถดำเนินการให้อุปกรณ์ทุกชนิดทำงานภายใต้ค่าพิกัดและระดับแรงดัน ไฟฟ้าทุกตำแหน่งอยู่ในระดับปรกติ หากระดับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในภาวะปรกติ มีค่าต่ำกว่าระดับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีที่เกิดเหตุขัดข้องอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ชำรุด 1 อุปกรณ์ (N-1) ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจะถูกกำหนดให้เป็นค่าในภาวะปรกติ (ค่าที่ต่ำกว่า) ผลทดสอบปรากฏว่าได้ค่ากำลังส่งรวมเท่ากับ 23.305 MW หลังจากนั้น จึงทำการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม โดยการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงตามตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2 การหาค่ากำลังรวมโดยการติดตั้ง TCSC

Branch_i	X_{TCSC} (p.u.)					Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	-0.04	-0.02	0	0.02	0.04		
2	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
3	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
5	26.826	24.993	23.305	20.99	18.916	9	26.826
7	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
8	24.508	23.912	23.305	21.659	20.136	9	24.508
12	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
15	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
20	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
21	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
24	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305

ตารางที่ 5.3 การหาค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้ง SVC

Bus_i	Q _{SVC} (p.u.)						Line-Trip	TTC _{MAX} (MW)
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1		
5	23.305	35.844	40.86	40.889	40.889	40.889	9	40.889
6	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
7	23.305	43.532	49.171	47.437	47.437	47.437	9	49.171
12	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
15	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
22	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
23	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
25	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
26	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
27	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS

	ค่ากำลังส่งรวม(MW)	Improved (%)	Limit
No-FACTS	23.305	0	V7
TCSC	26.826	15.1	V7
SVC	49.171	111	BR7

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบสังเกตได้ว่าการติดตั้ง SVC จะช่วยปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมได้มากกว่า การติดตั้ง TCSC สาเหตุเนื่องมาจาก ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ทั้ง 2 ชนิด การคำนวณค่ากำลังส่งรวม มีค่าเท่ากับ 23.305 MW ก่อนการละเมิดขีดจำกัดทางแรงดันที่บัส 7 ดังนั้นการแก้ปัญหาทางแรงดันของ SVC ที่ติดตั้ง ณ บัส 7 จึงสามารถแก้ปัญหาสามารถขยายการเพิ่มขึ้นของโหลดได้มากกว่า TCSC ซึ่งต่อระหว่างบัส 2 และ บัส 5

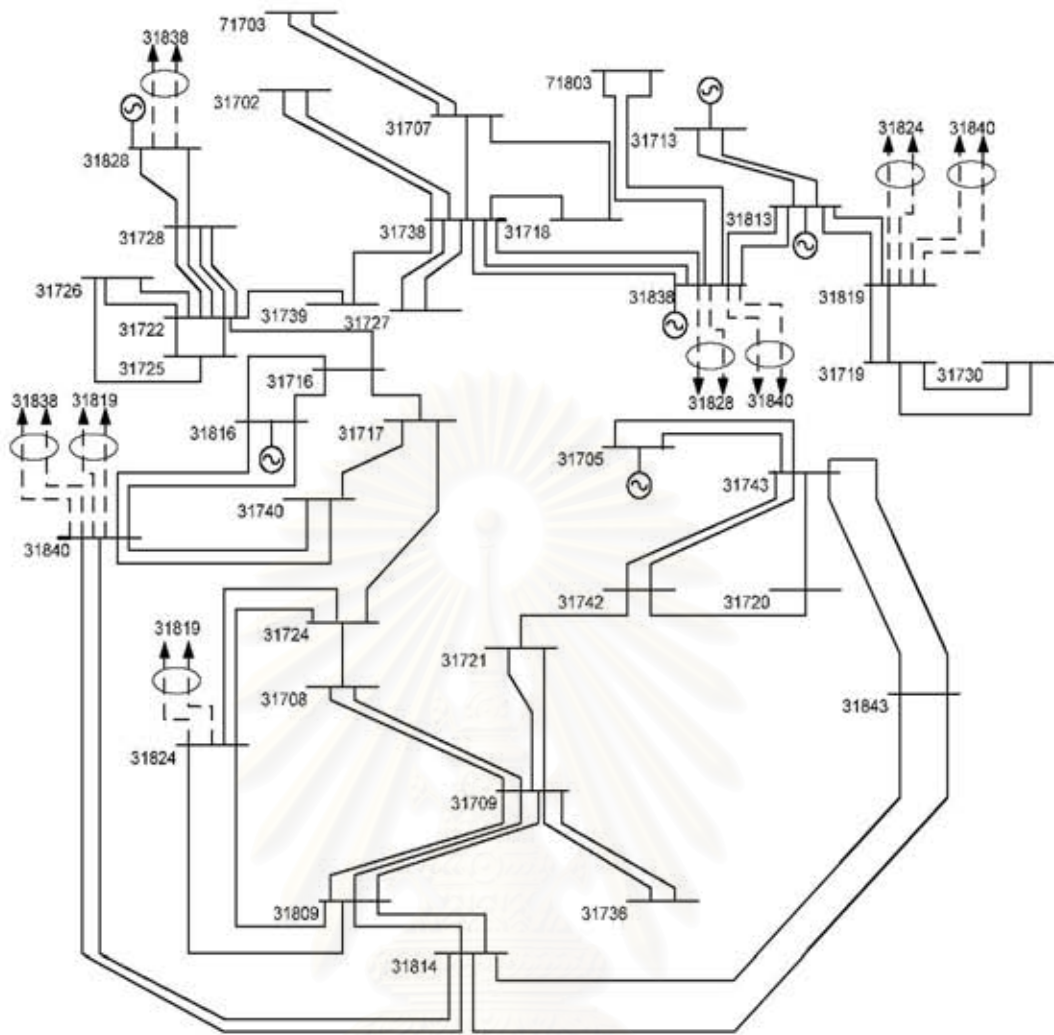
5.2 ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) ที่ใช้ มีองค์ประกอบดังนี้ คือ มี 39 บัส สายส่ง 84 เส้น เครื่องกำเนิด 6 ตัว โดยข้อมูลทั้งหมดแสดงในภาคผนวก ข โดยกำหนดให้ Source Bus (บัสต้นทาง) เป็นบัสอ้างอิงของระบบทดสอบในที่นี้คือ บัสหมายเลข 71923 (RB3) และ Sink Bus (บัสปลายทาง) ของระบบทดสอบในที่นี้คือ บัสหมายเลข 31709 (HY2) โดยบัสหมายเลข 71923 ถือเป็นบัสอ้างอิงในระบบซึ่งไม่ได้ถูกแสดงในรูปที่ 5.2

ข้อกำหนดเพิ่มเติมของการทดสอบ

1. การติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ทั้งสอง จะคิดเฉพาะบริเวณที่กำลังพิจารณา (บริเวณเขต 3 ภาคใต้)
2. การจำลอง เหตุขัดข้องจะจำลองเฉพาะสายส่งหลุดเท่านั้นและจะทำเฉพาะพื้นที่ ที่พิจารณา (บริเวณเขต 3) โดยสายส่งที่ขนานกันจากบัสต้นทางถึงบัสปลายทางเดียวกันให้ทำการจำลองเป็นสายส่งเพียงเส้นเดียวหลุดเช่นเดียวกับการติดตั้งอุปกรณ์ TCSC ที่จะติดตั้งเพียงเส้นเดียวเท่านั้น
3. แบบจำลองโหลดที่เลือกใช้เป็นแบบค่ากำลังไฟฟ้าคงที่ และค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบไฟฟ้าภาคใต้กับระบบข้างเคียงจะถูกกำหนดเป็นค่าโหลดคงที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

จากข้อกำหนดที่เพิ่มเติมเข้ามาทำให้สายส่งที่พิจารณามีเพียง 47 เส้นเท่านั้น โดยผลการทดสอบจะถูกนำเสนอเพียงกรณีศึกษาอย่างละ 10 กรณีจากกรณีเหตุขัดข้อง (สายส่งหลุด 1 เส้น) 47 กรณีส่วนตัวอย่างที่เหลือถูกแสดงในภาคผนวก ข

ตารางที่ 5.5 ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

Case	ความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้า (MW)
กรณีปกติ	90.053
กรณีเหตุขัดข้อง(สายส่งหลุด)	30.818

เช่นเดียวกับระบบทดสอบ IEEE 30 บัส ที่การพิจารณาค่ากำลังส่งรวมจะถูกพิจารณาจากค่าต่ำสุดระบบ ทั้งในกรณีปกติและกรณีเหตุขัดข้อง (สายส่งหลุด) ผลทดสอบปรากฏว่าได้ค่ากำลังส่งรวมเท่ากับ 30.818 MW หลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ที่ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงตามตารางที่ 5.6 และ 5.7

ตารางที่ 5.6 การหาค่ากำลังรวมโดยการติดตั้ง TCSC

Branch_i	X_{TCSC} (p.u.)					Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	-0.04	-0.02	0	0.02	0.04		
266	23.114	27.116	30.818	34.02	35.021	344	35.021
267	33.219	31.819	30.818	29.567	28.617	344	33.219
277	31.969	31.118	30.818	30.318	30.218	344	31.969
288	38.022	34.22	30.818	27.616	24.614	344	38.022
310	31.619	31.018	30.818	30.405	30.318	344	31.619
312	31.018	30.818	30.818	30.818	30.318	344	31.018
313	35.021	32.619	30.818	29.217	27.966	344	35.021
328	44.426	35.921	30.818	27.116	24.614	344	44.426
340	30.818	31.018	30.818	30.405	30.318	344	31.018
342	34.02	31.919	30.818	30.018	29.417	344	34.02

ตารางที่ 5.7 การหาค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้ง SVC

Bus_i	Q_{SVC} (p.u.)						Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1		
117	30.658	42.26	42.26	42.26	42.26	42.26	344	42.26
119	30.658	63.877	70.121	74.123	74.123	74.123	344	74.123

ตารางที่ 5.7 การหาค่ากำลังส่งรวมโดยการติดตั้ง SVC (ต่อ)

Bus_i	Q _{SVC} (p.u.)						Line-Trip	TTC _{MAX} (MW)
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1		
120	30.658	33.62	33.62	33.62	33.62	33.62	344	33.62
121	30.658	32.979	32.979	32.979	32.979	32.979	344	32.979
125	30.658	33.935	33.935	33.935	33.935	33.935	344	33.935
126	30.658	64.518	70.922	71.042	71.042	71.042	344	71.042
133	30.658	36.822	37.622	37.622	37.622	37.622	344	37.622
134	30.658	40.981	40.981	40.981	40.981	40.981	344	40.981
138	30.658	40.824	40.824	40.824	40.824	40.824	344	40.824

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS

	ค่ากำลังส่งรวม(MW)	Improved (%)	Limit
No-FACTS	30.818	0	V31718
TCSC	44.426	44.16	V31718
SVC	74.123	140.5	V31726

จากตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบสังเกตได้ว่าการติดตั้ง SVC จะช่วยปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมได้มากกว่าการติดตั้ง TCSC สาเหตุเนื่องมาจาก ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ทั้ง 2 ชนิด การคำนวณค่ากำลังส่งรวมมีค่าเท่ากับ 30.818 MW ก่อนละเมิดขีดจำกัดทางแรงดันที่บัส 31718 (LSN) ดังนั้นการติดตั้ง SVC ที่บัส 31707 (CP) ซึ่งเป็นบัสข้างเคียงจึงสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้มากกว่าการติดตั้ง TCSC ระหว่างบัส 31813 (KN)-31838 (SRT) ซึ่งอยู่ไกลออกไป

5.3 สรุป

ผลจากการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ทั้งสองชนิดคือ TCSC และ SVC เป็นเหตุให้ค่ากำลังส่งรวม (Total Transfer Capability: TTC) เกิดการเปลี่ยนแปลงจากค่าก่อนทำการติดตั้ง จากการทดสอบพบว่า การเพิ่มหรือลดลงของค่ากำลังส่งรวมขึ้นกับ ปัจจัย 2 ส่วน คือ ปัจจัยของตัวระบบทดสอบเอง (ในที่นี้คือข้อกำหนดของระบบทดสอบ เช่น การจำลองสายส่งหลุด) และส่วนที่ 2 คือ ปัจจัยที่มาจากอุปกรณ์ FACTS โดยปัจจัยในข้อหลังยังแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1.ตำแหน่งการติดตั้ง (Bus=SVC, Branch=TCSC) 2. การปรับค่าของพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS ($Q_{SVC}=SVC$, $X_{TCSC}=TCSC$) ซึ่งปัจจัยทั้งหลายส่วนที่กล่าวมาเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการหาค่ากำลังส่งรวม และเมื่อพิจารณาในเรื่องของเวลา ระบบที่มีความซับซ้อน หรือ ระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้นระยะเวลาที่ใช้ก็ยิ่งนานมากขึ้น หากจำเป็นต้องจำลองการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS หลายตัว กรรมวิธีแบบดั้งเดิมคือการปรับตำแหน่ง การปรับค่าของพารามิเตอร์ และเงื่อนไขของระบบทดสอบเพื่อหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของอุปกรณ์ FACTS ที่มีผลต่อสามารถในปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมสูงสุดจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนเพราะอาจไม่เหมาะสมหรือต้องใช้เวลาคำนวณมาก ดังนั้นวิธีการแบบดั้งเดิมจึงเหมาะสำหรับระบบทดสอบที่มีขนาดเล็กและความซับซ้อนไม่มากนัก

บทที่ 6

การวิเคราะห์ผลกระทบของอุปกรณ์ FACTS ที่มีต่อค่ากำลังส่งรวมโดยวิธี GA

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม ด้วยกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม หรือ GA โดยใช้ระบบทดสอบเดียวกับการหาค่ากำลังส่งรวม ด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม (คำนวณเพาเวอร์โฟลว์แบบซ้ำ) และยังมีเพิ่มเติมในส่วนของการติดตั้ง อุปกรณ์ FACTS ทั้ง 2 ชนิดเป็นชนิดละ 2 ตัว และ 3 ตัว ในส่วนตอนท้ายยังมีการเปรียบเทียบผลการ ติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ชนิด 1 ตัว 2 ตัว และ 3 ตัว และแบบที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS

โดยที่ข้อกำหนดของการทดสอบยังคงเป็นข้อกำหนดเดิมจากการหาค่ากำลังส่งรวมด้วยวิธีการ แบบดั้งเดิม (คำนวณเพาเวอร์โฟลว์แบบซ้ำ) ในบทที่ 5 แต่เพิ่มความละเอียดในการปรับค่าพารามิเตอร์ ของอุปกรณ์ FACTS ทั้ง 2 ชนิดซึ่งตัวของ GA ในที่นี้จะใช้ในการหาค่าเหมาะที่สุด พารามิเตอร์ ของอุปกรณ์ FACTS และ ในการจำลองเหตุขัดข้อง (สายส่งหลุด) ที่มีผลต่อค่ากำลังส่งรวมสูงสุด

6.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

1. การติดตั้ง TCSC

ตารางที่ 6.1 การหาค่าเหมาะที่สุดและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA

Generation	Branch	$X_{TCSC}(p.u.)$	Line-Trip	$TTC_{MAX}(MW)$
1	10	-0.01	9	23.308
2	5	-0.04	9	26.835
3	5	-0.04	9	26.835
4	5	-0.04	9	26.835
5	5	-0.04	9	26.835

ตารางที่ 6.2 การเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการแบบดั้งเดิมของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)

Genetics Algorithms (กรณีเหตุขัดข้อง)					แบบดั้งเดิม (กรณีเหตุขัดข้อง)				
Branch	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(S)	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(S)
5	-0.04	9	26.835	967.437	5	-0.04	9	26.826	2889.2

ตารางที่ 6.2 เป็นการเปรียบเทียบผลจากการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการแบบดั้งเดิมในสถานะเหตุขัดข้อง โดยในที่นี้ ตัว GA เองจำเป็นต้องหาค่าตอบถึง 3 ส่วน คือ ตำแหน่ง พารามิเตอร์ และ ผลของการจำลองสายส่งหลุดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังส่งรวมมากที่สุดผลจากการทดสอบพบว่าตัว GA เองสามารถหาค่าของตัวแปรต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ทั้งที่กำหนดค่าความละเอียดของพารามิเตอร์มากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม โดยที่ GA สามารถปรับความละเอียดของพารามิเตอร์ (X_{TCSC}) ได้ช่วงละ 0.01 pu ส่วนตัววิธีการแบบดั้งเดิมสามารถปรับความละเอียดของพารามิเตอร์ (X_{TCSC}) ได้ช่วงละ 0.02 pu

2. การติดตั้ง SVC

ตารางที่ 6.3 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA

Generation	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	14	45	9	23.308
2	7	35	9	49.118
3	7	35	9	49.118
4	7	35	9	49.118
5	7	35	9	49.118
6	7	39	9	49.194
7	7	39	9	49.194
8	7	39	9	49.194
9	7	39	9	49.194
10	7	39	9	49.194

ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการแบบดั้งเดิมของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)

Genetics Algorithms(กรณีเหตุขัดข้อง)					แบบดั้งเดิม(กรณีเหตุขัดข้อง)				
Bus	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(s)	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(s)
7	39	9	49.194	860.91	7	40	9	49.171	4625.7

ตารางที่ 6.4 เป็นการเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการแบบดั้งเดิมในสถานะเหตุขัดข้อง ผลจากการทดสอบพบว่า GA เองสามารถหาค่าของตัวแปรต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ทั้งที่กำหนดค่าละเอียดข้อพารามิเตอร์มากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม โดยที่ GA สามารถปรับความละเอียดของพารามิเตอร์ (Q_{SVC}) ได้ช่วงละ 1 MVAR ส่วน วิธีการแบบดั้งเดิมจะปรับความละเอียดของพารามิเตอร์ (Q_{SVC}) ได้ช่วงละ 20 MVAR เป็นเหตุให้การคำนวณด้วยวิธีแบบดั้งเดิมอาจเลยช่วงคำตอบที่เหมาะสมไป

ข้อสังเกตพบว่าจำนวนรอบของการคำนวณระหว่าง SVC กับ TCSC ไม่เท่ากันเนื่องจากค่าความละเอียดของพารามิเตอร์ที่คำนวณของอุปกรณ์ FACTS ทั้ง 2 ชนิดไม่เท่ากัน โดยที่ TCSC สามารถปรับข้อมูลได้ทีละ 0.01 มีช่วงการปรับตั้งแต่ -0.04 ถึง 0.04 pu ดังนั้นสามารถปรับค่าได้ 9 ครั้ง ส่วน SVC สามารถปรับข้อมูลได้ทีละ 1 MVAR มีช่วงการปรับตั้งแต่ 0-100 MVAR ดังนั้นสามารถปรับได้ 101 ค่า ทำให้จำนวนรอบของ SVC มีมากกว่าที่จะคำนวณค่าพารามิเตอร์อย่างถูกต้อง

6.2 ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

1. การติดตั้ง TCSC

ตารางที่ 6.5 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA

Generation	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	316	0.01	344	30.818
2	328	-0.04	344	44.426
3	328	-0.04	344	44.426
4	328	-0.04	344	44.426
5	328	-0.04	344	44.426

ตารางที่ 6.6 การเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการแบบดั้งเดิมของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)

Genetics Algorithms (กรณีเหตุขัดข้อง)					แบบดั้งเดิม (กรณีเหตุขัดข้อง)				
Branch	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(S)	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(S)
328	-0.04	344	44.426	11145	328	-0.04	344	44.426	39376

ตารางที่ 6.6 เป็นการเปรียบเทียบผลจากการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการแบบดั้งเดิมในสถานะเหตุขัดข้อง โดยในที่นี้ ตัว GA เองจำเป็นต้องหาคำตอบถึง 3 ส่วน คือ ตำแหน่ง พารามิเตอร์ และ ผลของการจำลองสายส่งหลุดที่มีผลกระทบต่อค่ากำลังส่งรวมมากที่สุด ผลจากการทดสอบพบว่า ตัว GA เองสามารถหาค่าของตัวแปรต่างๆ ได้อย่างแม่นยำทั้งที่กลุ่มของตัวแปรที่ต้องการหามีช่วงที่มากขึ้น

2. การติดตั้ง SVC

ตารางที่ 6.7 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง) ด้วย GA

Generation	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	122	95	344	30.818
2	119	85	344	75.995
3	119	90	344	75.995
4	119	90	344	75.995
5	119	95	344	75.995

ตารางที่ 6.8 การเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมกับวิธีการแบบดั้งเดิมของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)

Genetics Algorithms(กรณีเหตุขัดข้อง)					แบบดั้งเดิม(กรณีเหตุขัดข้อง)				
Bus	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(s)	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX}	Time(s)
119	95	344	75.995	23464	119	60	344	74.123	49869

ผลการคำนวณค่ากำลังส่งรวม จากตารางที่ 6.8 ด้วย GA มีค่าใกล้เคียงกันกับการคิดผลจากวิธีการแบบดั้งเดิมแต่จากตารางที่ 6.8 พบว่าการคำนวณค่ากำลังส่งรวมด้วย GA มีค่ามากกว่าเล็กน้อย เนื่องจากการปรับค่าความละเอียดของวิธีการทั้ง 2 ไม่เท่ากันทำให้การคำนวณค่ากำลังส่งรวมด้วยวิธีการแบบดั้งเดิมมีโอกาสที่จะข้ามคำตอบที่เหมาะสมไป ดังนั้นยังสามารถกำหนดความละเอียดของตัวแปรให้มากขึ้นก็มีโอกาสที่จะได้ค่าที่มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นนี้ถือเป็นข้อได้เปรียบของ GA

ในบทนี้มีส่วนเพิ่มเติมการคิดผลค่ากำลังส่งรวม โดยคิดผลของการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS 2 และ 3 ตัว โดยในตารางที่ 6.9 และ 6.10 เป็นตารางการเปรียบเทียบผลการติดตั้งอุปกรณ์ ในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และรายละเอียดทั้งหมดจะถูกแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 6.9 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC จำนวนต่างๆ โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

	TCSC=0	TCSC=1	TCSC=2	TCSC=3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	23.305	26.835	28.936	30.53
Time(S)	-	967.437	1787.8	5403.3

ตารางที่ 6.10 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวนต่างๆ โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

	SVC =0	SVC =1	SVC =2	SVC =3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	23.305	49.194	49.407	49.407
Time(S)	-	860.91	7450.6	7168.4

จากตารางที่ 6.11 และ 6.12 จะแสดงการเปรียบเทียบผลการติดตั้งอุปกรณ์ ในระบบทดสอบ ประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) โดยส่วนของรายละเอียดทั้งหมดถูกรวบรวมไว้ ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 6.11 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC จำนวนต่างๆ โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของ ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

	TCSC=0	TCSC=1	TCSC=2	TCSC=3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	30.818	44.426	47.928	60.811
Time(S)	-	11145	23922	25182

ตารางที่ 6.12 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวนต่างๆ โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของ ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

	SVC =0	SVC =1	SVC =2	SVC =3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	30.658	75.995	109.46	131.68
Time(S)	-	23464	60722	58673

จากค่าความหลากหลายของตัวแปรเมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS มากกว่า 1 ตัวเข้าไปในระบบ ทดสอบจึงไม่เหมาะสมกับการใช้วิธีการคำนวณแบบดั้งเดิม (การปรับค่าตัวแปรโดยตรง) เนื่องจาก อาจจะใช้เวลาการคำนวณที่มาก ยิ่งถ้าเป็นระบบขนาดใหญ่เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะยิ่งมากตามไป ด้วย ดังนั้นผลการทดสอบจากตารางที่ 6.9 - 6.12 จึงดึงลักษณะเด่นในการหาข้อมูลที่มีความซับซ้อน โดยการสุ่มหาค่าความเหมาะสมของตัวแปรแทนการปรับค่าโดยตรง โดยทำการคัดเลือกผ่านฟังก์ชัน ความเหมาะสมทำให้สามารถคำนวณหาตัวแปรที่มีความเหมาะสมได้

การเปรียบเทียบผลของการคำนวณค่ากำลังส่งรวมด้วยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โพลว์แบบดั้งเดิมกับ GA
กระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมหรือ GA

ข้อดี

1. สามารถจัดการกับปัญหาควแปรได้หลายหลายดั่งนั้น ในระบบทดสอบจึงสามารถกำหนดจำนวนอุปกรณ์ FACTS ได้มากกว่าการคำนวณเพาเวอร์โพลว์แบบดั้งเดิม
2. จากการทดสอบพบว่าสามารถกำหนดความละเอียดของควแปรที่ใช้ทดสอบ (ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS) ได้มากกว่าดั่งนั้นจึงเป็นโอกาสให้สามารถคำนวณค่ากำลังส่งรวมได้ดีขึ้น

ข้อเสีย

1. เนื่องจากวิธีการหาคำตอบเป็นวิธีการเชิงสุ่ม ดั่งนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคำนวณที่น่าเชื่อถือได้คำนวณควบคู่กันไปด้วย
2. เนื่องจากขั้นตอนในการคัดสรรประชากรที่มีความเหมาะสม ถ้าการกระจายตัวของข้อมูลมีน้อยจะมีโอกาสทำให้คำตอบตกที่ LOCAL แทนที่จะเป็น GLOBAL

การคำนวณเพาเวอร์โพลว์แบบดั้งเดิม

ข้อดี

1. เป็นวิธีการที่มีความน่าเชื่อถือและง่ายต่อการประยุกต์ใช้ร่วมกับคำนวณเพาเวอร์โพลว์ ดั่งนั้นจึงถูกนำไปเป็น วิธีการที่ใช้ในการอ้างอิงได้
2. สามารถเพิ่มความละเอียดของคำตอบได้ โดยอาจจะมีการใช้วิธีการหาคำตอบแบบอื่นเข้ามาช่วย ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ กระบวนการ Bisection

ข้อเสีย

1. การคำนวณเพาเวอร์โพลว์แบบดั้งเดิมเวลาที่ใช้ในการหาคำแหน่งการติดตั้ง เพื่อใช้ในการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม จำเป็นต้องจำลองตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ไปเรื่อยๆ จนครบแล้วจึงคัดเลือกผ่านข้อมูลที่คำนวณมา ดั่งนั้นถ้าระบบที่มีความซับซ้อน หรือควแปรที่ต้องการหามีมาก เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

6.3 สรุป

ผลจากการหาคำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS ทั้ง 2 ชนิด ด้วยกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมเพื่อใช้ในการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวม ซึ่งผลที่ได้จากบทนี้ได้มีการนำไปเปรียบเทียบกับผลจากบทที่ 5 โดยผลจากการเปรียบเทียบสามารถคำนวณหา คำแหน่ง พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS และการจำลองสายส่งหาค่าได้ใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันตรงการค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS เนื่องจากการปรับค่าความละเอียดของพารามิเตอร์ต่างกัน โดยจะเห็นผลในกรณีการติดตั้งอุปกรณ์ SVC ของระบบทดสอบทั้ง 2 โดยในบทนี้ได้มีการเพิ่มเติมในส่วนของการจำลองการติดตั้งของอุปกรณ์ FACTS มากกว่า 1 ตัว ทำให้ข้อมูลที่ต้องการมีความซับซ้อนขึ้น ซึ่งไม่เหมาะสมกับวิธีการแบบดั้งเดิมซึ่งจะทำการปรับค่าของอุปกรณ์โดยตรง ต่างกับการหาค่าความเหมาะสมผ่านกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งจะอาศัยการคัดสรรผ่านการสุ่มหาค่าความเหมาะสมของตัวแปรแทนการปรับค่าโดยตรงของอุปกรณ์ ทำให้สามารถคำนวณค่าตัวแปรที่มีความเหมาะสมได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การพิจารณาผลความคลุมเครือที่มีผลต่อค่ากำลังส่งรวม

บทนี้กล่าวถึงการคิดผลกระทบของการจำลองความคลุมเครือของข้อมูลโหนดที่มีผลต่อค่ากำลังส่งรวม โดยมีการจำลองข้อมูลโหนดในรูปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อค่ากำลังส่งรวม โดยการจำลองข้อมูลจะหลักการฟัซซีเซตร่วมกับการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์แบบซ้ำ

ข้อกำหนดของระบบทดสอบ

1. ระบบทดสอบที่ใช้คือ ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส
2. ระบบทดสอบไม่ได้มีการคิดผลของอุปกรณ์ FACTS

สำหรับการจำลองข้อมูลโหนดในที่นี่ถูกนำเสนอเป็น 3 รูปแบบ

1. แบบที่ 1 การจำลองข้อมูลโหนดที่ใช้ Membership Function (MF) เป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีการเอียงของข้อมูลไปทางขวา (10-20%)
2. แบบที่ 2 การจำลองข้อมูลโหนดที่ใช้ Membership Function (MF) เป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีการเอียงของข้อมูลไปทางซ้าย (20-10%)
3. แบบที่ 2 การจำลองข้อมูลโหนดที่ใช้ Membership Function (MF) เป็นรูปสามเหลี่ยมเป็นแบบสมมาตร (10-10%)

เมื่อสามารถจำลองข้อมูลโหนดได้แล้ว ก็ทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยแบ่งการคำนวณออกตามระดับความเป็นสมาชิกรวมทั้งสิ้น 5 ระดับซึ่งประกอบด้วย 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1 เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราใช้ตัวเลขฟัซซีรูปสามเหลี่ยมมาจำลองผลจากความคลุมเครือของข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยค่ากำลังไฟฟ้าจริงและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ดังนั้นการคำนวณที่ระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 จะสามารถคำนวณได้ผลได้ปกติ ส่วนระดับความเป็นสมาชิกที่อื่นๆ สามารถหาช่วงของข้อมูลได้ 2 ค่าคือ TTC_{max} และ TTC_{min}

7.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

7.1.1 การจำลองข้อมูลโหลดเป็นแบบที่ 1

ตารางที่ 7.1 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-20 % (TTC_{max})

Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
1	22.107	23.045	22.91	22.981	23.305
2	25.128	24.675	24.211	23.76	23.305
3	25.128	24.675	24.211	23.76	23.305
4	25.13	24.675	24.211	23.76	23.305
5	25.13	24.675	24.216	23.76	23.305
6	25.13	24.675	24.216	23.76	23.305
7	25.13	24.675	24.216	23.76	23.305
8	25.13	24.675	24.216	23.76	23.305
9	25.13	24.675	24.217	23.76	23.305
10	25.13	24.675	24.217	23.76	23.305
11	25.13	24.675	24.217	23.76	23.305
12	25.13	24.675	24.217	23.76	23.305
13	25.13	24.675	24.217	23.76	23.305
14	25.13	24.675	24.217	23.76	23.305
15	25.13	24.675	24.217	23.76	23.305

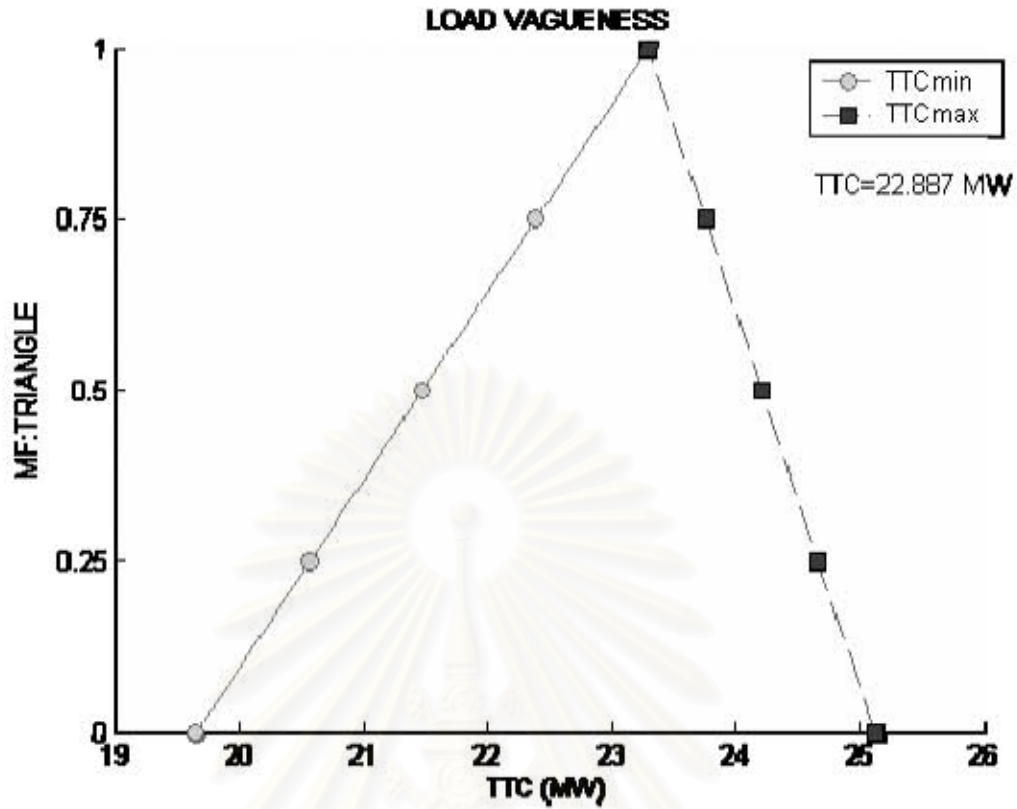
ตารางที่ 7.2 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-20 % (TTC_{min})

Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
1	22.107	23.045	22.91	22.981	23.305
2	19.66	20.569	21.508	22.396	23.305
3	19.66	20.569	21.489	22.396	23.305

ตารางที่ 7.2 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-20 % (TTC_{min}) (ต่อ)

Generation	α -Cut				
	0	0.25	0.5	0.75	1
4	19.66	20.569	21.489	22.396	23.305
5	19.66	20.569	21.489	22.396	23.305
6	19.66	20.569	21.489	22.396	23.305
7	19.66	20.569	21.483	22.396	23.305
8	19.66	20.569	21.483	22.396	23.305
9	19.66	20.569	21.483	22.396	23.305
10	19.66	20.569	21.483	22.396	23.305
11	19.66	20.569	21.483	22.394	23.305
12	19.66	20.569	21.483	22.394	23.305
13	19.66	20.569	21.483	22.394	23.305
14	19.66	20.569	21.483	22.394	23.305
15	19.66	20.569	21.483	22.394	23.305

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.1 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-20 %

7.1.2 การจำลองข้อมูลโหลดเป็นแบบที่ 2

ตารางที่ 7.3 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 20-10% (TTC_{max})

Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
1	22.394	23.887	24.568	23.464	23.305
2	26.949	26.041	25.129	24.216	23.305
3	26.949	26.041	25.129	24.216	23.305
4	26.949	26.041	25.129	24.216	23.305
5	26.949	26.041	25.129	24.216	23.305
6	26.95	26.041	25.129	24.216	23.305
7	26.95	26.041	25.129	24.216	23.305

ตารางที่ 7.3 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 20-10% (TTC_{max}) (ต่อ)

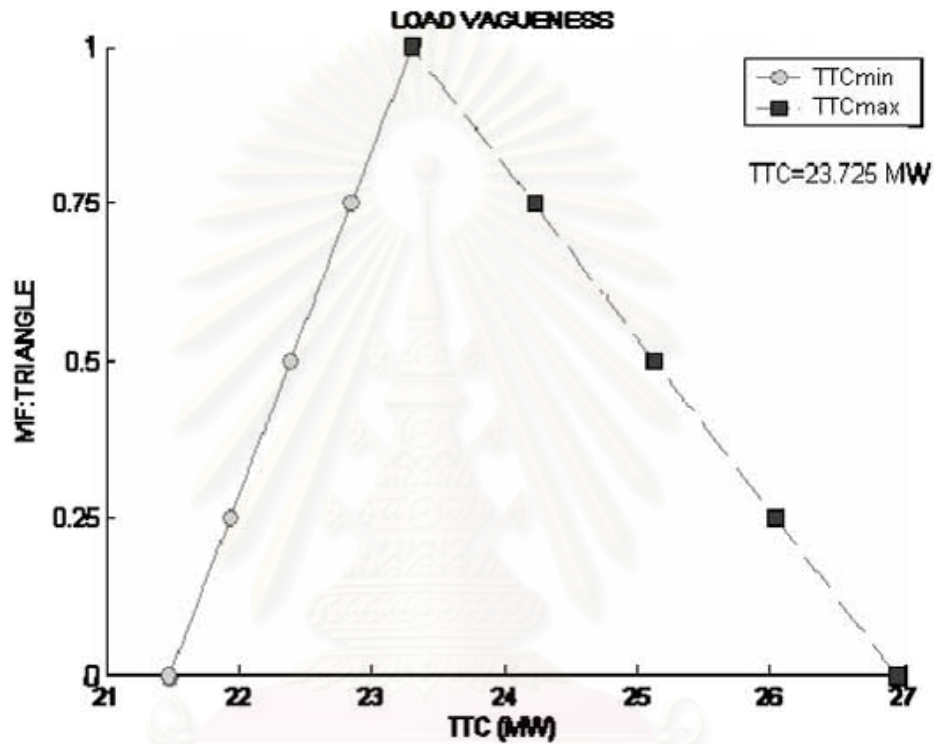
Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
8	26.95	26.041	25.129	24.216	23.305
9	26.95	26.045	25.129	24.216	23.305
10	26.952	26.045	25.129	24.216	23.305
11	26.952	26.045	25.129	24.216	23.305
12	26.952	26.045	25.129	24.216	23.305
13	26.953	26.045	25.129	24.222	23.305
14	26.953	26.045	25.129	24.222	23.305
15	26.954	26.045	25.129	24.222	23.305

ตารางที่ 7.4 การจำลองข้อมูลโหลดแบบ สามเหลี่ยม ค่าความคลุมเครือ 20-10 % (TTC_{min})

Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
1	22.394	23.887	24.568	23.464	23.305
2	21.532	21.952	22.397	22.856	23.305
3	21.489	21.944	22.397	22.85	23.305
4	21.489	21.944	22.397	22.85	23.305
5	21.489	21.94	22.397	22.85	23.305
6	21.488	21.94	22.397	22.85	23.305
7	21.488	21.94	22.397	22.85	23.305
8	21.488	21.94	22.397	22.85	23.305
9	21.487	21.94	22.397	22.85	23.305
10	21.487	21.94	22.396	22.85	23.305
11	21.487	21.94	22.396	22.85	23.305
12	21.487	21.94	22.396	22.85	23.305
13	21.487	21.94	22.396	22.85	23.305
14	21.487	21.939	22.396	22.85	23.305

ตารางที่ 7.4 การจำลองข้อมูลโหลดแบบ สามเหลี่ยม ค่าความคลุมเครือ 20-10 % (TTC_{min}) (ต่อ)

Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
15	21.483	21.939	22.396	22.85	23.305



รูปที่ ๖.2 การจำลองข้อมูลโหลดแบบ สามเหลี่ยม ค่าความคลุมเครือ 20-10 %

7.1.3 การจำลองข้อมูลโหลดเป็นแบบที่ 3

ตารางที่ 7.5 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 % (TTC_{min})

Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
1	22.413	22.233	23.888	23.089	23.305
2	25.129	24.675	24.222	23.761	23.305
3	25.129	24.675	24.222	23.761	23.305
4	25.129	24.675	24.222	23.766	23.305
5	25.129	24.675	24.222	23.766	23.305

ตารางที่ 7.5 การจำลองข้อมูลโหลคแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 % (TTC_{max}) (ต่อ)

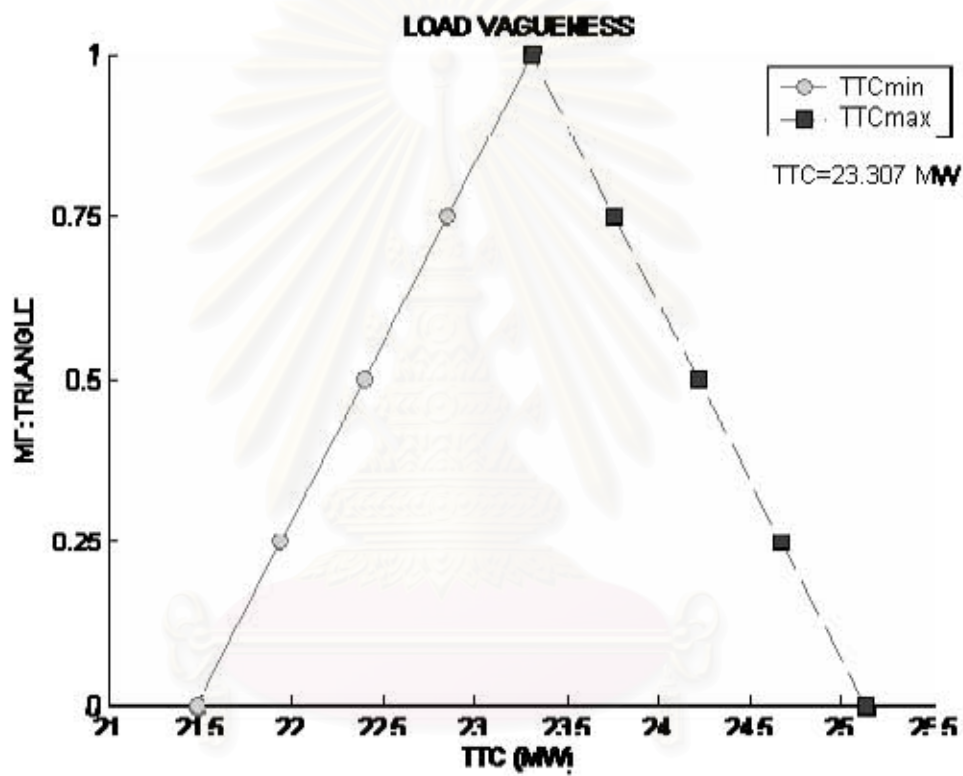
Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
6	25.129	24.675	24.222	23.766	23.305
7	25.129	24.675	24.222	23.766	23.305
8	25.129	24.675	24.222	23.766	23.305
9	25.13	24.675	24.222	23.766	23.305
10	25.13	24.675	24.222	23.766	23.305
11	25.13	24.675	24.222	23.766	23.305
12	25.13	24.675	24.222	23.766	23.305
13	25.13	24.675	24.222	23.766	23.305
14	25.13	24.675	24.222	23.766	23.305
15	25.13	24.675	24.222	23.766	23.305

ตารางที่ 7.6 การจำลองข้อมูลโหลคแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 % (TTC_{min})

Generation	$\alpha - Cut$				
	0	0.25	0.5	0.75	1
1	22.413	22.233	23.888	23.089	23.305
2	21.515	21.945	22.394	22.851	23.305
3	21.489	21.945	22.394	22.851	23.305
4	21.489	21.94	22.394	22.85	23.305
5	21.489	21.94	22.394	22.85	23.305
6	21.489	21.94	22.394	22.85	23.305
7	21.482	21.94	22.394	22.85	23.305
8	21.482	21.94	22.394	22.85	23.305
9	21.482	21.939	22.394	22.85	23.305
10	21.482	21.939	22.394	22.85	23.305
11	21.482	21.939	22.394	22.85	23.305
12	21.482	21.939	22.394	22.85	23.305

ตารางที่ 7.6 การจำลองข้อมูลโหลดแบบสามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 % (TTC_{min})

Generation	α -Cut				
	0	0.25	0.5	0.75	1
13	21.482	21.939	22.394	22.85	23.305
14	21.482	21.939	22.394	22.85	23.305
15	21.482	21.939	22.394	22.85	23.305



รูปที่ ๖.3 การจำลองข้อมูลโหลดแบบ สามเหลี่ยมค่าความคลุมเครือ 10-10 %

ตารางที่ 7.7 การเปรียบเทียบการจำลองข้อมูล โหลดที่มีการกระจายของข้อมูลแบบต่างๆ

MF=TRIANGLE		
รูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	ค่ากำลังส่งรวม (MW)	ผิดพลาด (%)
0	23.305	0
สามเหลี่ยมเอียงทางขวา (10-20)	22.887	-1.79
สามเหลี่ยมเอียงทางซ้าย (20-10)	23.725	+1.8
สามเหลี่ยมสมมาตร (10 -10)	23.307	0

ผลการจำลองข้อมูลโหลดที่มีการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ พบว่าค่าความคลุมเครือซึ่งแฝงในรูปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกส่งผลกระทบต่อการคำนวณค่ากำลังส่งรวมโดยพอสรุปได้ดังนี้

แบบที่ 1: การจำลองการกระจายของข้อมูลโหลดที่เอียงไปทางขวา ผลทดสอบพบว่าผลจากความคลุมเครือของข้อมูลโหลด มีแนวโน้มทำให้สามารถคำนวณค่ากำลังส่งรวมได้ลดลง เมื่อเทียบกับกรณีโหลดปกติ เนื่องจากข้อมูลโหลดส่วนใหญ่มีค่ามากขึ้นจากค่าเดิมเป็นผลให้สามารถเพิ่มค่ากำลังส่งรวมได้ลดลง

แบบที่ 2: การจำลองการกระจายของข้อมูลโหลดที่เอียงไปทางซ้าย ผลทดสอบพบว่าผลจากความคลุมเครือของข้อมูลโหลด มีแนวโน้มทำให้สามารถคำนวณค่ากำลังส่งรวมได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีโหลดปกติ เนื่องจากข้อมูลโหลดส่วนใหญ่มีค่าลดลงจากค่าเดิมเป็นผลให้สามารถคำนวณผลของค่ากำลังส่งรวมได้มากขึ้น

แบบที่ 3: การจำลองการกระจายของข้อมูลโหลดที่มีลักษณะสมมาตร ผลทดสอบพบว่าผลจากความคลุมเครือของข้อมูลโหลด สามารถคำนวณผลได้ใกล้เคียงเมื่อเทียบกับกรณีโหลดปกติ เนื่องจากมีการกระจายความคลุมเครืออย่างสม่ำเสมอ

7.2 สรุป

จากการหาค่ากำลังส่งรวม โดยพิจารณาถึงความคลุมเครือของโหลด ตามที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จากการทดสอบทั้ง 3 แบบ พบว่าค่าความคลุมเครือของโหลดซึ่งแฝงในรูปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะส่งผลกระทบต่อค่ากำลังส่งรวม โดยสรุปได้ว่าผลกระทบของความคลุมเครือของโหลดที่ส่งผลต่อการคำนวณค่ากำลังส่งรวมจะขึ้นกับลักษณะของความคลุมเครือซึ่งแฝงในรูปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยสามารถอธิบายเป็นแนวโน้มได้ว่าถ้าการกระจายตัวของข้อมูล (รูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก) โหลดมีค่าความคลุมเครือไปในทิศทางที่น้อยกว่าค่าปกติก็จะทำให้สามารถคำนวณค่ากำลังส่งรวมได้มากขึ้น กลับกันถ้าการกระจายตัวของข้อมูล (รูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก) โหลดมีค่าความคลุมเครือไปในทิศทางที่มากขึ้นการคำนวณค่ากำลังส่งรวมก็จะมีผลน้อยลง เมื่อเทียบกับการคำนวณจากกรณีโหลดปกติ

บทที่ 8

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้ทำวิจัยได้ศึกษาและพัฒนาวิธีการปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมแบบบัสต่อบัส ด้วยกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมหรือ GA เพื่อช่วยในการหาตำแหน่งและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS ที่เหมาะสม โดยนำผลที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณค่ากำลังส่งรวมแบบดั้งเดิม และในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลความคลุมเครือของข้อมูลโหนดที่ส่งผลต่อค่ากำลังส่งรวม โดยอาศัยการจำลองข้อมูลโหนดแบบฟิชซี โดยสามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

การปรับปรุงค่ากำลังส่งรวมโดยวิธีการหาตำแหน่งและพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ของอุปกรณ์ FACTS ด้วยกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรมหรือ GA เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม จากผลการทดสอบพบว่าสามารถคำนวณผลของการหาตำแหน่ง พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS และการจำลองสายส่งหลุด ได้ใกล้เคียงกับวิธีการแบบดั้งเดิม แต่จะแตกต่างกันที่ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ เนื่องจากการปรับความละเอียดของตัวแปรของทั้ง 2 วิธีไม่เท่ากัน โดยเฉพาะผลการจำลองการติดตั้ง SVC ของระบบทั้ง 2 นอกจากนี้เมื่อมีการจำลองผลการติดตั้งของอุปกรณ์ FACTS มากกว่า 1 ตัว ทำให้ข้อมูลที่ต้องการหา มีความซับซ้อนขึ้น การแก้ปัญหาด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งจะทำให้การปรับค่าตัวแปรโดยตรง ทำจนครบทุกกรณีจะใช้เวลามากในการคำนวณ ดังนั้นวิธีการแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสมกับระบบที่มีความซับซ้อนมากๆ จากปัญหาดังกล่าวเมื่อระบบมีความซับซ้อนมากขึ้นจึงอาศัยลักษณะเด่นของ GA ในการแก้ปัญหาแทน โดยที่ GA จะหาค่าความเหมาะสมของตัวแปร โดยอาศัยการคัดสรรข้อมูลผ่านการสุ่มหาค่าความเหมาะสมแทนการปรับค่าโดยตรงของอุปกรณ์ ทำให้เหมาะกับหาตัวแปรที่มีความซับซ้อน

การคำนวณค่ากำลังส่งรวมโดยคิดผลของความคลุมเครือของโหนด ในงานวิจัยฉบับนี้ได้มีการจำลองข้อมูลโหนดด้วยฟิชซีเซต ซึ่งมีการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่างๆ ส่งผลให้ค่ากำลังส่งรวมมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าการจำลองโหนดแบบปกติ โดยสามารถสรุปเป็นแนวโน้มได้ว่าถ้าการกระจายตัวของข้อมูลโหนดมีค่าความคลาดเคลื่อนไปในทิศทางที่น้อยกว่าค่าปกติก็จะทำให้สามารถคำนวณค่ากำลังส่งรวมได้มากขึ้น กลับกันถ้าการกระจายตัวของข้อมูลโหนดมีทิศทางไปทางที่มากขึ้น การคำนวณค่ากำลังส่งรวมก็จะมีผลน้อยลง เมื่อเทียบกับการคำนวณจากกรณีโหนดปกติ

8.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป

1. จากข้อกำหนดของระบบทดสอบในบทที่ 5 ทั้งระบบทดสอบ IEEE 30 บัส และระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) สามารถเพิ่มเติมหรือ เปลี่ยนแปลงเพื่อให้เข้ากับการทดสอบ
2. ทำการปรับปรุงวิธีการหาค่ากำลังส่งรวมแบบบัสต่อบัส เป็นแบบรายกลุ่มหรือรายภาค
3. พัฒนาโปรแกรมเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือว่าสามารถนำไปใช้ได้จริง
4. ปรับปรุงขั้นตอนของการหาดำแหน่ง พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ FACTS และการจำลองสายส่ง หลุดเพื่อลดเวลาในการคำนวณ
5. เพิ่มตัวคูณโหลด หรือ λ เข้าไปในขั้นตอนของการกำหนดกลุ่มประชากรเพื่อลดเวลาในการคำนวณ
6. เนื่องจากการหาดำแหน่ง และค่าพารามิเตอร์ ถูกคำนวณด้วยวิธีการเชิงสุ่ม จึงไม่สามารถรับรอง ผลการคำนวณจากวิธีดังกล่าวได้ 100% ดังนั้นจึงหาการคำนวณแบบอื่น คำนวณควบคู่กันไป ด้วย
7. การจำลองเหตุขัดข้องในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คิดเฉพาะ การจำลองสายส่งหลุด ดังนั้นเพื่อความสมจริงในการหาค่ากำลังส่งรวม เมื่อคิดผลของการจำลองเหตุขัดข้องควรเพิ่มเติม การคิดผลของเครื่องกำเนิดหลุดด้วย
8. สามารถกำหนดจำนวนอุปกรณ์ FACTS ได้อย่างอิสระ โดยที่ในงานวิจัยสามารถกำหนดจำนวน อุปกรณ์สูงสุดได้ 3 ตัว

รายการอ้างอิง

- [1] Available Transfer Capability Definitions and Determination [Online]. NERC, 1996.
Available from: <http://www.nerc.com/~filez/atcwg.html> [2006, June 17]
- [2] กนต์ สมบัติวิไลเลิศ. การกำหนดค่าความสามารถจ่ายโอนกำลังไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2543.
- [3] พรประนต ดินขบุตร. การวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในสถานะอยู่ตัวโดยอาศัยการไหล
ของกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [4] Yan .O, Chanan .S. Improvement of Total Transfer Capability Using TCSC and SVC.
Student Member. IEEE
- [5] Liang .M, Ali .A. Total Transfer Capability Computation for Multi-Area Power Systems.
IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS. IEEE 2006.
- [6] Venkataramana .A, Colin ,C. The Continuation Power Flow: A tool for Steady State Voltage
Stability Analysis, IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, IEEE 1992.
- [7] Mohamed. S, YixinNi, Felix. W. Total Transfer Capability Calculations for Competitive
Power Networks Using Genetic Algorithms. IEEE 2000.
- [8] G.SOMBUTTWILAILERT and B.EUA-ARPORN. Iterative Linear Estimation for Total
Transfer Capability Evaluation. IEEE 2005.
- [9] Gengyin.L, Ming.Z, Yajing.G. Determination of Total Transfer Capability Incorporating
FACTS Devices in Power Markets. IEEE 2005.
- [10] พิทักษ์ ทางรัตนสุวรรณ. การปรับปรุงสมรรถนะของระบบไฟฟ้ากำลังด้วยระบบส่งกำลังไฟฟ้า
กระแสตรงแรงดันสูงและอุปกรณ์ FACTS. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- [11] John [1].Wiley.and.Sons.FACTS.Modelling.and.Simulation.in.Power. The Atrium, Southern
Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2004.
- [12] ปฐม อัครดิวิยะนุภาพ. การทำออปติไมซ์เพาเวอร์ โฟลว์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม. วิทยานิพนธ์
ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2540.

- [13] Zbigniew .M, Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs. Department of Computer Science University of North Carolina, 1996. (Third edition)
- [14] Narayana P, P, Abdel-M. M. A, B. J. Praveen Kumar. Optimal Location and Initial Parameter Settings of Multiple TCSC for Reactive Power Planning Using Genetic Algorithms. IEEE
- [15] Weerakorn .O, Peerapol. J. Optimal Allocation of FACTS Devices to Enhance Total Transfer Capability Using Evolutionary Programming. IEEE 2005.
- [17] Mohamed,E.E.I Electric Power Application of Fuzzy System. United States of America: IEEE Press, 1998.
- [18] George,J.KLIR and BoYuan. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Application United States of America : Prentice-Hall Inc., 1995.
- [19] อรรถกร กรุณานนท์. การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีในการประเมินค่าความเชื่อถือได้และกำลังผลิตสำรองที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [20] Mohamed, E. EI. Electric Power Application of Fuzzy System. New York: IEEE Press,1998 pp.223-265
- [21] Lin, C. T. and Lee, C .S. G. Neural Fuzzy System. New Jersey: Prentice-Hill,1996

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลโหลด

Bus_i	Bus_Type	Pd (MW)	Qd (MVar)	Vm (p.u.)	Va (degrees)	Vmax (p.u.)	Vmin (p.u.)
1	3	0	0	1.02	0	1.05	0.95
2	2	17.36	10.16	1.02	0	1.1	0.95
3	1	1.92	0.96	1	0	1.05	0.95
4	1	6.08	1.28	1	0	1.05	0.95
5	1	0	0	1	0	1.05	0.95
6	1	0	0	1	0	1.05	0.90
7	1	18.24	8.72	1	0	1.05	0.90
8	1	24	24	1	0	1.05	0.90
9	1	0	0	1	0	1.05	0.95
10	1	4.64	1.6	1	0	1.05	0.95
11	1	0	0	1	0	1.05	0.95
12	1	8.96	6	1	0	1.05	0.95
13	2	0	0	1.02	0	1.1	0.95
14	1	4.96	1.28	1	0	1.05	0.95
15	1	6.56	2	1	0	1.05	0.95
16	1	2.8	1.44	1	0	1.05	0.95
17	1	7.2	4.64	1	0	1.05	0.90
18	1	2.56	0.72	1	0	1.05	0.95
19	1	7.6	2.72	1	0	1.05	0.95
20	1	1.76	0.56	1	0	1.05	0.95
21	1	14	8.96	1	0	1.05	0.95

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลโหลด (ต่อ)

Bus_i	Bus_Type	Pd (MW)	Qd (MVar)	Vm (p.u.)	Va (degrees)	Vmax (p.u.)	Vmin (p.u.)
22	2	0	0	1.02	0	1.1	0.95
23	2	2.56	1.28	1.02	0	1.1	0.95
24	1	6.96	5.36	1	0	1.05	0.95
25	1	0	0	1	0	1.05	0.95
26	1	2.8	1.84	1	0	1.05	0.95
27	2	0	0	1.02	0	1.1	0.95
28	1	0	0	1	0	1.05	0.95
29	1	1.92	0.72	1	0	1.05	0.95
30	1	8.48	1.52	1	0	1.05	0.95

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลกำลังการผลิต

Bus_i	Pg (MW)	Qg (MVar)	Qmax (MVar)	Qmin (MVar)	Vg (p.u.)	Pmax (MW)	Pmin (MW)
1	23.54	0	150	-150	1.02	0	0
2	60.97	0	90	-90	1.02	90	0
22	21.59	0	75	-75	1.02	75	0
27	26.91	0	55	-55	1.02	55	0
23	19.2	0	50	-50	1.02	50	0
13	37	0	55	-55	1.02	55	0

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า

From bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
1	2	0.02	0.06	0.03	130	130	130
1	3	0.05	0.19	0.02	130	130	130
2	4	0.06	0.17	0.02	65	65	65

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
3	4	0.01	0.04	0	130	130	130
2	5	0.05	0.2	0.02	130	130	130
2	6	0.06	0.18	0.02	65	65	65
4	6	0.01	0.04	0	90	90	90
5	7	0.05	0.12	0.01	70	70	70
6	7	0.03	0.08	0.01	130	130	130
6	8	0.01	0.04	0	32	32	32
6	9	0	0.21	0	65	65	65
6	10	0	0.56	0	32	32	32
9	11	0	0.21	0	65	65	65
9	10	0	0.11	0	65	65	65
4	12	0	0.26	0	65	65	65
12	13	0	0.14	0	65	65	65
12	14	0.12	0.26	0	32	32	32
12	15	0.07	0.13	0	32	32	32
12	16	0.09	0.2	0	32	32	32
14	15	0.22	0.2	0	16	16	16
16	17	0.08	0.19	0	16	16	16
15	18	0.11	0.22	0	16	16	16
18	19	0.06	0.13	0	16	16	16
19	20	0.03	0.07	0	32	32	32
10	20	0.09	0.21	0	32	32	32
10	17	0.03	0.08	0	32	32	32
10	21	0.03	0.07	0	32	32	32
10	22	0.07	0.15	0	32	32	32
21	22	0.01	0.02	0	32	32	32

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
15	23	0.1	0.2	0	16	16	16
22	24	0.12	0.18	0	16	16	16
23	24	0.13	0.27	0	16	16	16
24	25	0.19	0.33	0	16	16	16
25	26	0.25	0.38	0	16	16	16
25	27	0.11	0.21	0	16	16	16
28	27	0	0.4	0	65	65	65
27	29	0.22	0.42	0	16	16	16
27	30	0.32	0.6	0	16	16	16
29	30	0.24	0.45	0	16	16	16
8	28	0.06	0.2	0.02	32	32	32
6	28	0.02	0.06	0.01	32	32	32

ระบบ IEEE 30 บัส ทำการละเลขบัสหมายเลข 11, 13 และ 26 โดยระบบที่ถูกแก้ไขจะทำการยุบบัสหมายเลขดังกล่าวและทำการรวม โหลดไว้กับบัสที่ต่อเชื่อมกับบัสที่ถูกละเลข โดยบัสที่มีลำดับต่อกับบัสดังกล่าวจะเลื่อนขึ้นไป เมื่อมีการยุบบัสดังกล่าวทั้ง 3 ออกไปจะทำให้ผลจากการทำหาค่าดัชนีลดลงจาก 41 ไปเป็น 38 กรณี

ตารางที่ ก.4 การแก้ไขข้อมูล โหลดระบบ IEEE 30 บัส

Bus_i	Bus_Type	Pd (MW)	Qd (MVar)	Vm (p.u.)	Va (degrees)	Vmax (p.u.)	Vmin (p.u.)
1	3	0	0	1.02	0	1.05	0.95
2	2	17.36	10.16	1.02	0	1.1	0.95
3	1	1.92	0.96	1	0	1.05	0.95
4	1	6.08	1.28	1	0	1.05	0.95
5	1	0	0	1	0	1.05	0.95

ตารางที่ ก.4 การแก้ไขข้อมูลโหนดระบบ IEEE 30 BUS (ต่อ)

Bus_i	Bus_Type	Pd (MW)	Qd (MVar)	Vm (p.u.)	Va (degrees)	Vmax (p.u.)	Vmin (p.u.)
6	1	0	0	1	0	1.05	0.90
7	1	18.24	8.72	1	0	1.05	0.90
8	1	24	24	1	0	1.05	0.90
9	1	0	0	1	0	1.05	0.95
10	1	4.64	1.6	1	0	1.05	0.95
11	2	8.96	6	1.02	0	1.05	0.95
12	1	4.96	1.28	1	0	1.05	0.95
13	1	6.56	2	1	0	1.05	0.95
14	1	2.8	1.44	1	0	1.05	0.95
15	1	7.2	4.64	1	0	1.05	0.90
16	1	2.56	0.72	1	0	1.05	0.95
17	1	7.6	2.72	1	0	1.05	0.95
18	1	1.76	0.56	1	0	1.05	0.95
19	1	14	8.96	1	0	1.05	0.95
20	2	0	0	1.02	0	1.1	0.95
21	2	2.56	1.28	1.02	0	1.1	0.95
22	1	6.96	5.36	1	0	1.05	0.95
23	1	0	0	1	0	1.05	0.95
24	2	0	0	1.02	0	1.1	0.95
25	1	0	0	1	0	1.05	0.95
26	1	1.92	0.72	1	0	1.05	0.95
27	1	8.48	1.52	1	0	1.05	0.95

ตารางที่ ก.5 การแก้ไขข้อมูลกำลังการผลิตระบบ IEEE 30 บัส

Bus_i	Pg (MW)	Qg (MVar)	Qmax (MVar)	Qmin (MVar)	Vg (p.u.)	Pmax (MW)	Pmin (MW)
1	23.54	0	150	-150	1.02	0	0
2	60.97	0	90	-90	1.02	90	0
20	21.59	0	75	-75	1.02	75	0
24	26.91	0	55	-55	1.02	55	0
21	19.2	0	50	-50	1.02	50	0
11	37	0	55	-55	1.02	55	0

ตารางที่ ก.6 การแก้ไขข้อมูลสายส่งไฟฟ้าระบบ IEEE 30 บัส

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
1	2	0.02	0.06	0.03	130	130	130
1	3	0.05	0.19	0.02	130	130	130
2	4	0.06	0.17	0.02	65	65	65
3	4	0.01	0.04	0	130	130	130
2	5	0.05	0.2	0.02	130	130	130
2	6	0.06	0.18	0.02	65	65	65
4	6	0.01	0.04	0	90	90	90
6	7	0.03	0.08	0.01	130	130	130
6	8	0.01	0.04	0	65	65	65
6	9	0	0.21	0	65	65	65
6	10	0	0.56	0	32	32	32
9	10	0	0.11	0	65	65	65
4	11	0	0.26	0	65	65	65
11	12	0.12	0.26	0	32	32	32
11	13	0.07	0.13	0	32	32	32
11	14	0.09	0.2	0	32	32	32

ตารางที่ ก.6 การแก้ไขข้อมูลสายส่งไฟฟ้าระบบ IEEE 30 BUS (ต่อ)

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
12	13	0.22	0.2	0	32	32	32
14	15	0.08	0.19	0	32	32	32
13	16	0.11	0.22	0	32	32	32
16	17	0.06	0.13	0	32	32	32
17	18	0.03	0.07	0	32	32	32
10	18	0.09	0.21	0	32	32	32
10	15	0.03	0.08	0	32	32	32
10	19	0.03	0.07	0	32	32	32
10	20	0.07	0.15	0	32	32	32
19	20	0.01	0.02	0	65	65	65
13	21	0.1	0.2	0	32	32	32
20	22	0.12	0.18	0	32	32	32
21	22	0.13	0.27	0	32	32	32
22	23	0.19	0.33	0	32	32	32
23	24	0.11	0.21	0	32	32	32
25	24	0	0.4	0	65	65	65
24	26	0.22	0.42	0	32	32	32
24	27	0.32	0.6	0	32	32	32
26	27	0.24	0.45	0	32	32	32
8	25	0.06	0.2	0.02	65	65	65
6	25	0.02	0.06	0.01	32	32	32

ตารางที่ ก.7.1 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง TCSC (กรณีเหตุขัดข้อง)

Branch_i	X_{ICSC} (p.u.)					Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	-0.04	-0.02	0	0.02	0.04		
1	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
2	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
3	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
4	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
5	26.826	24.993	23.305	20.99	18.916	9	26.826
6	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
7	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
8	24.508	23.912	23.305	21.659	20.136	9	24.508
9	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
10	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
11	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
12	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
13	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
14	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
15	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
16	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
17	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
18	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
19	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
20	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
21	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
22	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
23	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
24	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
25	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305

ตารางที่ ก.7.1 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง TCSC (เหตุขัดข้อง) (ต่อ)

Branch_i	X_{TCSC} (p.u.)					Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	-0.04	-0.02	0	0.02	0.04		
26	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
27	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
28	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
29	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
30	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
31	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
32	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
33	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
34	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
35	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
36	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
37	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
38	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305

ตารางที่ ก.7.2 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง SVC (เหตุขัดข้อง)

Bus_i	Q_{SVC} (p.u.)						Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1		
3	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
4	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
5	23.305	35.844	40.86	40.889	40.889	40.889	9	40.889
6	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
7	23.305	43.532	49.171	47.437	47.437	47.437	9	49.171
8	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
9	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
10	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305

ตารางที่ ก.7.2 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง SVC (เหตุขัดข้อง) (ต่อ)

Bus_i	$Q_{SVC}(p.u.)$						Line-Trip	$TTC_{MAX}(MW)$
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1		
12	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
13	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
14	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
15	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
16	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
17	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
18	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
19	23.305	23.305	23.305	0.000	0.000	0.000	9	23.305
22	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
23	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
25	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
26	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305
27	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	23.305	9	23.305

ภาคผนวก ข

ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลโหลด

Bus_i	Bus_Type	Pd (MW)	Qd (MVar)	Vm (p.u.)	Va (degrees)	Vmax (p.u.)	Vmin (p.u.)
31702	1	44.424	24.579	1.0321	-2.6827	1.05	0.98
31705	2	10.096	5.586	1.043	-13.443	1.05	0.98
31707	1	41.36	22.884	1.02	-8.6315	1.05	0.98
31708	1	59.648	33.002	1.0062	-15.785	1.05	0.98
31709	1	150.24	83.125	1.0113	-15.347	1.05	0.98
31713	2	65.696	36.349	1.02	5.9708	1.05	0.98
31716	1	50.864	28.142	1.0347	-3.0143	1.05	0.98
31717	1	84.456	46.728	0.9879	-9.4807	1.05	0.98
31718	1	19.376	10.72	1.0199	-7.8759	1.05	0.98
31719	1	89.872	49.725	1.0149	-4.8452	1.05	0.98
31720	1	29.648	16.404	1.0042	-17.251	1.05	0.98
31721	1	67.128	37.141	1.0025	-17.44	1.05	0.98
31722	1	27.624	15.284	1.0206	-7.1648	1.05	0.98
31724	1	39.544	21.879	1.0144	-9.1842	1.05	0.98
31725	1	35.208	19.48	1.0064	-11.136	1.05	0.98
31726	1	96.112	53.177	0.99274	-11.722	1.05	0.98
31727	1	35.896	19.861	1.0368	-2.444	1.05	0.98
31728	1	6.216	3.439	1.0408	-1.9594	1.05	0.98
31729	1	38.272	21.175	1.037	-20.606	1.05	0.98
31730	1	29.232	16.174	0.99922	-6.6173	1.05	0.98

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลโหลด

Bus_i	Bus_Type	Pd (MW)	Qd (MVar)	Vm (p.u.)	Va (degrees)	Vmax (p.u.)	Vmin (p.u.)
31732	1	28.912	15.997	0.99745	-17.493	1.05	0.98
31734	1	39.192	21.684	1.0026	-21.244	1.05	0.98
31736	1	71.096	39.336	1.0047	-16.543	1.05	0.98
31737	1	20.544	11.367	0.99445	-18.811	1.05	0.98
31738	1	17.616	9.747	1.0396	-2.3029	1.05	0.98
31739	1	22.072	12.212	1.0167	-10.536	1.05	0.98
31740	1	141.21	78.128	1.0076	-6.4348	1.05	0.98
31742	1	48.488	26.827	1.0189	-14.726	1.05	0.98
31743	1	0	0	1.0199	-14.583	1.05	0.98
31809	1	0	0	1.0187	-11.114	1.05	0.98
31813	2	0	0	1.037	5.776	1.05	0.98
31814	1	0	0	1.0231	-10.643	1.05	0.98
31816	2	0	0	1.04	-1.0955	1.05	0.98
31819	1	0	0	1.0237	-2.7115	1.05	0.98
31824	1	0	0	1.0188	-7.6964	1.05	0.98
31828	2	0	0	1.04	1.3478	1.05	0.98
31838	2	0	0	1.04	1.6139	1.05	0.98
31840	1	0	0	1.0291	-3.1749	1.05	0.98
31843	1	0	0	1.022	-12.921	1.05	0.98
71923	3	0	0	1.033	-2.5748	1.05	0.98

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลกำลังการผลิต

Bus_i	Pg (MW)	Qg (MVar)	Qmax (MVar)	Qmin (MVar)	Vg (p.u.)	Pmax (MW)	Pmin (MW)
31705	59	24.386	44.7	-21	1.043	72	0
31816	225	20.968	180	-90	1.04	300	0
31713	71.5	8.3665	46.5	-23	1.02	75	0
31813	718.5	-29.722	464.1	-229	1.037	761	0
31828	159	-2.1272	141	-222	1.04	240	0
31838	346	18.602	186	-120	1.04	360	0
71923	881.25	-299.28	1358	-678	1.033	2484	0

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
31702	31738	0.0136	0.03937	0.00518	120	130	130
31702	31738	0.0136	0.03937	0.00518	120	130	130
31705	31743	0.05389	0.10905	0.01464	96	104	104
31705	31743	0.05389	0.10905	0.01464	96	104	104
31707	31718	0.05879	0.16502	0.02316	120	130	130
31707	31738	0.17662	0.49874	0.0705	120	130	130
31707	71703	0.11783	0.35912	0.04293	120	130	130
31707	71703	0.11783	0.35912	0.04293	120	130	130
31708	31709	0.01136	0.02421	0.00292	96	104	104
31708	31709	0.00893	0.02625	0.00335	120	130	130
31708	31724	0.15526	0.26493	0.0288	82	89	89
31708	31734	0.07434	0.21874	0.02793	120	130	130
31709	31721	0.09608	0.26999	0.03796	120	130	130
31709	31721	0.09608	0.26999	0.03796	120	130	130
31709	31732	0.04452	0.13091	0.0167	120	130	130

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
31709	31736	0.0209	0.05863	0.00822	120	130	130
31709	31736	0.0209	0.05863	0.00822	120	130	130
31809	31709	0	0.065	0	200	200	200
31809	31709	0	0.06692	0	200	200	200
31809	31709	0	0.06658	0	200	200	200
31813	31713	0	0.13	0	100	100	100
31813	31713	0	0.11833	0	100	100	100
31716	31717	0.16073	0.27696	0.02953	82	89	89
31716	31722	0.18486	0.31872	0.034	82	89	89
31816	31716	0	0.065	0	200	200	200
31816	31716	0	0.065	0	200	200	200
31717	31724	0.12065	0.20573	0.02235	82	89	89
31717	31740	0.03105	0.13644	0.02044	163	179	179
31718	31738	0.1278	0.35972	0.05065	120	130	130
31719	31730	0.05146	0.22641	0.03393	163	179	179
31719	31730	0.05146	0.22641	0.03393	163	179	179
31819	31719	0	0.0647	0	200	200	200
31819	31719	0	0.06495	0	200	200	200
31720	31737	0.04695	0.13183	0.01847	120	130	130
31720	31742	0.08729	0.18627	0.02248	96	104	104
31720	31743	0.03983	0.17505	0.02624	163	179	179
31721	31742	0.03996	0.11749	0.01499	120	130	130
31722	31725	0.07686	0.21799	0.03001	120	130	130
31722	31725	0.07686	0.21799	0.03001	120	130	130
31722	31726	0.03407	0.23506	0.03257	215	238	238
31722	31726	0.03407	0.23506	0.03257	215	238	238

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
31722	31728	0.07363	0.20696	0.02901	120	130	130
31722	31728	0.07363	0.20696	0.02901	120	130	130
31722	31728	0.04958	0.21804	0.0327	163	179	179
31722	31728	0.04958	0.21804	0.0327	163	179	179
31722	31739	0.08537	0.14551	0.0158	82	89	89
31824	31724	0	0.065	0	200	200	200
31824	31724	0	0.065	0	200	200	200
31725	31726	0.01806	0.05117	0.00703	120	130	130
31727	31738	0.00629	0.01822	0.0024	120	130	130
31727	31738	0.00629	0.01822	0.0024	120	130	130
31828	31728	0	0.06965	0	200	200	200
31828	31728	0	0.065	0	200	200	200
31729	31739	0.16706	0.35834	0.0431	96	104	104
31738	31739	0.21604	0.36926	0.0402	82	89	89
31838	31738	0	0.11817	0	100	100	100
31838	31738	0	0.125	0	100	100	100
31838	31738	0	0.125	0	100	100	100
31840	31740	0	0.065	0	200	200	200
31840	31740	0	0.065	0	200	200	200
31742	31743	0.00075	0.00472	0.00138	326	358	358
31742	31743	0.00075	0.00472	0.00138	326	358	358
31843	31743	0	0.065	0	200	200	200
31843	31743	0	0.065	0	200	200	200
31809	31814	0.0015	0.01168	0.0875	858	954	954
31809	31814	0.0015	0.01168	0.0875	858	954	954
31809	31824	0.00877	0.06327	0.13957	429	477	477

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

Form bus number	To bus number	r (p.u.)	x (p.u.)	b (p.u.)	RateA (MVA)	RateB (MVA)	RateC (MVA)
31809	31824	0.00877	0.06327	0.13957	429	477	477
31813	31819	0.00971	0.07048	0.15372	429	477	477
31813	31819	0.00971	0.07048	0.15372	429	477	477
31813	31838	0.00762	0.05519	0.12066	429	477	477
31813	31838	0.00762	0.05519	0.12066	429	477	477
31814	31840	0.01031	0.10941	0.45164	858	954	954
31814	31840	0.01031	0.10941	0.45164	858	954	954
31814	31843	0.01215	0.08775	0.19412	429	477	477
31814	31843	0.01215	0.08775	0.19412	429	477	477
31816	31840	0.00965	0.06962	0.15376	429	477	477
31816	31840	0.00965	0.06962	0.15376	429	477	477
31819	31824	0.00892	0.06472	0.1411	429	477	477
31819	31824	0.00892	0.06472	0.1411	429	477	477
31819	31840	0.00539	0.0388	0.08554	429	477	477
31819	31840	0.00539	0.0388	0.08554	429	477	477
31828	31838	0.00512	0.03688	0.08123	429	477	477
31828	31838	0.00512	0.03688	0.08123	429	477	477
31838	31840	0.00606	0.06391	0.26166	858	954	954
31838	31840	0.00606	0.06391	0.26166	858	954	954
31838	71803	0.02782	0.20472	0.45648	429	477	477
31838	71803	0.02782	0.20472	0.45648	429	477	477

ตารางที่ ข.4.1 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง TCSC (กรณีเหตุขัดข้อง)

Branch_i	X_{ICSC} (p.u.)					Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	-0.04	-0.02	0	0.02	0.04		
262	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
264	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
266	23.114	27.116	30.818	34.02	35.021	344	35.021
267	33.219	31.819	30.818	29.567	28.617	344	33.219
268	27.991	29.517	30.818	31.619	32.619	344	32.619
270	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
272	30.405	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
273	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
275	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
277	31.969	31.118	30.818	30.318	30.218	344	31.969
280	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
282	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
283	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
284	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
286	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
287	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
288	38.022	34.22	30.818	27.616	24.614	344	38.022
289	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
291	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
293	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
294	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
295	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
296	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
298	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
300	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
304	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818

ตารางที่ ข.4.1 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง TCSC (เหตุขัดข้อง) (ต่อ)

Branch_i	X_{ICSC} (p.u.)					Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
	-0.04	-0.02	0	0.02	0.04		
305	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
307	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
308	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
310	31.619	31.018	30.818	30.405	30.318	344	31.619
312	31.018	30.818	30.818	30.818	30.318	344	31.018
313	35.021	32.619	30.818	29.217	27.966	344	35.021
316	31.619	31.018	30.818	30.818	30.318	344	31.619
318	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
320	31.018	30.818	30.818	30.818	30.818	344	31.018
322	30.818	29.417	30.818	30.818	30.818	344	30.818
324	31.193	31.018	30.818	30.318	30.218	344	31.193
326	31.619	31.819	30.818	29.217	27.816	344	31.819
328	44.426	35.921	30.818	27.116	24.614	344	44.426
330	31.619	31.018	30.818	30.318	30.018	344	31.619
332	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
334	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818
336	30.818	31.018	30.818	30.318	30.018	344	31.018
338	30.368	31.018	30.818	30.393	30.218	344	31.018
340	30.818	31.018	30.818	30.405	30.318	344	31.018
342	34.02	31.919	30.818	30.018	29.417	344	34.02
344	30.818	30.818	30.818	30.818	30.818	344	30.818

ตารางที่ ข.4.2 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง SVC (กรณีเหตุขัดข้อง)

Bus_i	$Q_{SVC}(p.u.)$						Line-Trip	$TTC_{MAX}(MW)$
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1		
117	30.658	42.26	42.26	42.26	42.26	42.26	344	42.26
118	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	344	30.658
119	30.658	63.877	70.121	74.123	74.123	74.123	344	74.123
120	30.658	33.62	33.62	33.62	33.62	33.62	344	33.62
121	30.658	32.979	32.979	32.979	32.979	32.979	344	32.979
123	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	344	30.658
124	30.658	29.137	29.137	29.137	29.137	29.137	344	30.658
125	30.658	33.935	33.935	33.935	33.935	33.935	344	33.935
126	30.658	64.518	70.922	71.042	71.042	71.042	344	71.042
127	30.658	28.497	28.497	28.497	28.497	28.497	344	30.658
128	30.658	31.058	31.058	31.058	31.058	31.058	344	31.058
129	30.658	32.499	32.499	32.499	32.499	32.499	344	32.499
130	30.658	36.822	36.822	36.822	36.822	36.822	344	36.822
131	30.658	28.657	28.657	28.657	28.657	28.657	344	30.658
132	30.658	36.822	37.622	37.622	37.622	37.622	344	37.622
133	30.658	36.822	37.622	37.622	37.622	37.622	344	37.622
134	30.658	40.981	40.981	40.981	40.981	40.981	344	40.981
135	30.658	28.657	28.657	28.657	28.657	28.657	344	30.658
136	30.658	31.058	31.058	31.058	31.058	31.058	344	31.058
137	30.658	33.139	33.139	33.139	33.139	33.139	344	33.139
138	30.658	40.824	40.824	40.824	40.824	40.824	344	40.824
139	30.658	37.137	37.137	37.137	37.137	37.137	344	37.137
140	30.658	31.338	31.338	31.338	31.338	31.338	344	31.338
141	30.658	30.578	30.578	30.578	30.578	30.578	344	30.658
142	30.658	30.418	30.418	30.418	30.418	30.418	344	30.658
144	30.658	28.737	28.737	28.737	28.737	28.737	344	30.658

ตารางที่ ข.4.2 การหาค่า TTC_{MW} กรณีติดตั้ง SVC (กรณีเหตุขัดข้อง) (ต่อ)

Bus_i	$Q_{SVC}(p.u.)$						Line-Trip	$TTC_{MAX}(MW)$
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1		
145	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	344	30.658
146	30.658	28.016	25.295	22.253	19.812	19.812	344	30.658
147	30.658	27.376	26.576	26.576	26.576	26.576	344	30.658
148	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	344	30.658
149	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	30.658	344	30.658
150	30.658	26.886	23.043	20.172	20.172	20.172	344	30.658
151	30.658	29.777	29.777	29.777	29.777	29.777	344	30.658



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

ตารางที่ ค.1 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (2 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Branch	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	1	13	0.03	0.03	9	23.308
2	5	30	-0.04	-0.02	9	26.835
3	5	26	-0.04	0.04	9	26.835
4	5	27	-0.04	0.04	9	26.835
5	1	5	-0.04	-0.04	9	26.835
6	5	5	-0.03	-0.02	9	27.804
7	5	5	-0.03	-0.02	9	27.804
8	5	5	-0.03	-0.02	9	27.804
9	8	5	-0.02	-0.04	9	28.936
10	8	5	-0.02	-0.04	9	28.936

ตารางที่ ค.2 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (3 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Branch	Branch	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	13	14	32	-0.01	0.01	-0.03	9	23.308
2	8	27	5	-0.02	0.02	-0.04	9	28.936
3	8	27	5	-0.02	0.02	-0.04	9	28.936
4	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
5	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
6	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53

ตารางที่ ค.2 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (3 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง) (ต่อ)

Generation	Branch	Branch	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
7	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
8	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
9	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
10	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
11	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
12	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
13	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
14	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53
15	16	5	8	-0.03	-0.04	-0.04	9	30.53

ตารางที่ ค.3 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC จำนวน 3 ตัว โดยวิธีการถ่ายเทคทางพันธุกรรมของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

	TCSC=0	TCSC=1	TCSC=2	TCSC=3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	23.305	26.835	28.936	30.53
Time(S)	-	967.437	1787.8	5403.3

ตารางที่ ค.4 การหาตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (2 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Bus	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	5	11	35	63	9	40.764
2	7	3	39	0	9	49.194
3	7	5	40	69	9	49.34

ตารางที่ ค.4 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (2 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Bus	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
4	5	7	58	35	9	49.376
5	5	7	58	35	9	49.376
6	5	7	26	37	9	49.407
7	5	7	26	37	9	49.407
8	5	7	26	37	9	49.407
9	5	7	26	37	9	49.407
10	5	7	26	37	9	49.407
11	5	7	26	37	9	49.407
12	5	7	26	37	9	49.407
13	5	7	26	37	9	49.407
14	5	7	26	37	9	49.407
15	5	7	26	37	9	49.407

ตารางที่ ค.5 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (3 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Bus	Bus	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	10	14	9	51	53	6	9	23.308
2	20	13	7	16	46	39	9	49.194
3	20	13	7	16	46	39	9	49.194
4	22	7	12	51	39	61	9	49.194
5	11	7	4	83	38	68	9	49.194
6	22	7	6	46	39	25	9	49.194
7	7	5	24	36	48	53	9	49.403

ตารางที่ ค.5 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (3 ตัว) ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส (กรณีเหตุขัดข้อง) (ต่อ)

Generation	Bus	Bus	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
8	7	5	24	36	48	53	9	49.403
9	7	5	24	36	48	53	9	49.403
10	7	5	18	37	54	50	9	49.407
11	5	5	7	60	39	37	9	49.407
12	7	5	18	37	54	50	9	49.407
13	7	5	18	37	54	50	9	49.407
14	7	5	7	31	42	6	9	49.407
15	7	5	7	31	42	6	9	49.407

ตารางที่ ค.6 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวน 3 ตัว โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส

	SVC =0	SVC =1	SVC =2	SVC =3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	23.305	49.194	49.407	49.407
Time(S)	-	860.91	7450.6	7168.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

ตารางที่ ง.1 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (2 ตัว) ของระบบ
ทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Branch	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	295	266	0.01	0.04	344	35.021
2	338	328	-0.03	-0.04	344	44.626
3	338	328	-0.03	-0.04	344	44.626
4	268	328	0.01	-0.04	344	44.801
5	268	328	0.01	-0.04	344	44.801
6	268	328	0.01	-0.04	344	44.801
7	268	328	0.01	-0.04	344	44.801
8	268	328	0.01	-0.04	344	44.801
9	328	313	-0.04	-0.03	344	47.928
10	328	313	-0.04	-0.03	344	47.928

ตารางที่ ง.2 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (3 ตัว) ของระบบ
ทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Branch	Branch	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	270	326	294	-0.01	0.03	0.01	344	28.417
2	288	300	328	-0.02	0.03	-0.04	344	48.628
3	342	328	328	0.04	-0.04	-0.01	344	51.63
4	342	328	328	0.04	-0.04	-0.01	344	51.63
5	342	328	328	0.04	-0.04	-0.01	344	51.63

ตารางที่ ง.2 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ TCSC (3 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Branch	Branch	Branch	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	X_{TCSC} (p.u.)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
6	342	328	328	0.04	-0.04	-0.01	344	51.63
7	342	328	328	0.04	-0.04	-0.02	344	60.811
8	342	328	328	0.04	-0.04	-0.02	344	60.811
9	342	328	328	0.04	-0.04	-0.02	344	60.811
10	342	328	328	0.04	-0.04	-0.02	344	60.811

ตารางที่ ง.3 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง TCSC โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

	TCSC=0	TCSC=1	TCSC=2	TCSC=3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	30.818	44.426	47.928	60.881
Time(S)	-	11145	23922	25182

ตารางที่ ง.4 การหาค่าตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (2 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Bus	Bus	Q_{svc} (MVar)	Q_{svc} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	121	119	15	100	344	86.05
2	119	151	95	60	344	99.246
3	133	121	60	65	344	102.86
4	119	139	60	60	344	103.66
5	125	150	45	95	344	106.06
6	124	125	60	70	344	109.26
7	124	125	60	70	344	109.26

ตารางที่ ง.4 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (2 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง) (ต่อ)

Generation	Bus	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
8	142	125	85	65	344	109.46
9	142	125	85	65	344	109.46
10	142	125	85	65	344	109.46

ตารางที่ ง.5 การหาดำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ของ SVC (3 ตัว) ของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส) (กรณีเหตุขัดข้อง)

Generation	Bus	Bus	Bus	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Q_{SVC} (MVar)	Line-Trip	TTC_{MAX} (MW)
1	140	125	124	75	10	70	344	63.637
2	142	119	120	70	55	100	344	128.68
3	126	119	136	95	95	95	344	128.68
4	142	119	120	70	55	100	344	128.68
5	142	119	120	70	55	100	344	128.68
6	142	119	120	70	55	100	344	128.68
7	142	119	120	70	55	100	344	128.68
8	126	119	136	95	95	95	344	128.68
9	134	121	119	25	55	40	344	131.68
10	142	139	119	70	80	90	344	131.68

ตารางที่ ๖.6 ผลเปรียบเทียบการติดตั้ง SVC จำนวน 3 ตัว โดยวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของระบบทดสอบประเทศไทย (ภาคใต้ 39 บัส)

	SVC =0	SVC =1	SVC =2	SVC =3
	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง	เหตุขัดข้อง
TTC(MW)	30.658	75.995	109.46	131.68
Time(S)	-	23464	60722	58673



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนุวัติ แซ่ลิ่ง เกิดวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2548 หลังจากสำเร็จการศึกษา ได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย