

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีพีชชีในการประเมินค่าความเชื่อถือได้และกำลังผลิตสำรอง
ที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า

นาย อรรถกร กรุณานนท์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542
ISBN 974-333-602-8
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE APPLICATION OF FUZZY THEORY IN ELECTRICAL POWER GENERATION
RELIABILITY AND OPTIMUM RESERVE LEVEL EVALUATION

Mr. Auttagron Karunanoon

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

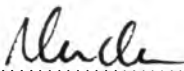
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

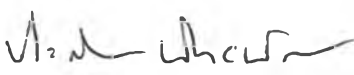
ISBN 974-333-602-8

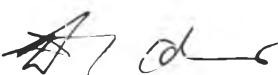
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ทฤษฎีพีชซีในการประเมินค่าความเชื่อถือได้และกำลังผลิต สำหรับที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า
โดย	นายอรรถกร กรุณานนท์
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

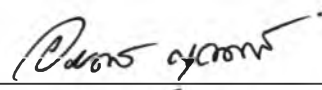
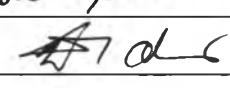

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ไชยะ แซ่มช้อย)

อรรถกร ภูษานนท์ : การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีในการประเมินค่าความเชื่อถือได้และ
กำลังผลิตสำรองที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า (THE APPLICATION OF FUZZY
THEORY IN ELECTRICAL POWER GENERATION RELIABILITY AND
OPTIMUM RESERVE LEVEL EVALUATION) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.บัณฑิต
เอื้ออาภรณ์, 132 หน้า. ISBN 974-333-602-8

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีในการจำลองและจัดการกับความไม่
แน่นอนในการประเมินค่าความเชื่อถือได้และการวางแผนของระบบผลิตไฟฟ้า สำหรับวิธีการ
ดังกล่าวจะอาศัยหลักการของฟัซซีเซตร่วมกับทฤษฎีความน่าจะเป็น โดยแบบจำลองของระบบ
ผลิตไฟฟ้าจะอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นสำหรับใช้แสดงถึงรอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
อย่างไรก็ตาม ค่าอัตราการเสียและอัตราการซ่อมแซมจะเป็นตัวเลขฟัซซีแทนค่าเฉลี่ยซึ่งใช้กัน
ทั่วไป ในส่วนของแบบจำลองของโหลด ลักษณะของโหลดประเภทต่างๆจะแสดงผ่านตัวเลขฟัซซี
เพื่อแสดงถึงความไม่แน่นอนของค่าโหลดที่ได้จากการพยากรณ์ และที่ใช้ในการประเมินค่ากำลัง
การผลิตที่เหมาะสม ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าจะกำหนดเป็นตัวเลขฟัซซีซึ่งได้จากระบบการ
วินิจฉัยเชิงฟัซซีเพื่อแสดงถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง แนวคิด
ดังกล่าวจะทำให้เราสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนที่อยู่ในส่วนผลิตและส่วนของผู้ใช้ได้อย่าง
เหมาะสมมากขึ้น วิธีที่นำเสนอนี้จะนำไปทดสอบกับระบบทดสอบของ IEEE (IEEE-RTS) และผล
ที่ได้รับจะนำเสนอเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีการแบบดั้งเดิม โดยผลจากการเปรียบเทียบแสดง
ให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอจะให้ข้อมูลเพื่อการวางแผนการผลิตไฟฟ้าที่เป็น
ประโยชน์และครอบคลุมมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีแบบดั้งเดิม

ภาควิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____ ลายมือชื่อนิสิต _____ 
สาขาวิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____ 
ปีการศึกษา _____ 2542 _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4170631721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: RELIABILITY INDICES / FUZZY SET THEORY / PROBABILISTIC
THEORY / FUZZY NUMBER / FUZZY LOGIC / COST-BENEFIT
ANALYSIS / RELIABILITY-WORTH EVALUATION
AUTTAGRON KARUNANOON : THE APPLICATION OF FUZZY
THEORY IN ELECTRICAL POWER GENERATION RELIABILITY
AND OPTIMUM RESERVE LEVEL EVALUATION. THESIS ADVISOR:
ASSOC. PROF. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D. 132 pp.
ISBN 974-333-602-8

This thesis presents the application of fuzzy theory in modeling and dealing with uncertainties in electrical power generation reliability evaluation and planning. The proposed method employs fuzzy set concepts together with probabilistic theory. In generation modeling, probabilistic concept is used to represent the failure-repair cycle of generating units. However fuzzy numbers, instead of expected values, are used to represent failure and repair rates. In load modeling, several types of load curves are described by fuzzy numbers in order to represent uncertainty in the forecasted load. Finally, in optimum reserve level evaluation, the customer interruption cost is also described by fuzzy numbers obtained from the fuzzy inference system (FIS) to represent the deviation of the collected damage cost data. With the proposed method, the uncertainties embedded in both generation and demand sides can be handled more appropriately than by a conventional method. The method has been tested on an IEEE-RTS. The obtained results have been compared with the ones obtained from a conventional probabilistic based method. The comparison shows that the results obtained from the proposed method will provide broader and useful information for power generation planning purposes.

ภาควิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____ ลายมือชื่อนิสิต _____
สาขาวิชา _____ วิศวกรรมไฟฟ้า _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ปีการศึกษา _____ 2542 _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด และผู้วิจัยขอขอบคุณสมาชิกของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบพลังงานทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาทำการวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอย่างสูง ที่ให้ทุนอุดหนุนสำหรับการวิจัยนี้ ภายใต้โครงการ “ศิษย์ก้นกุฏิ”

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และน้อง ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา ตั้งแต่ระยะเวลาที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีจนถึงปัจจุบัน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่	
1 บทนำทั่วไป	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 แนวคิดพื้นฐานและหลักการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง	2
1.3 แนวคิดพื้นฐานของการประเมินค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม	6
1.4 แนวคิดที่นำเสนอ	7
1.5 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	8
1.6 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์	8
1.7 ขั้นตอนการวิจัย	9
1.8 เนื้อหาวิทยานิพนธ์	9
2 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้า และ การหาค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม	10
2.1 แบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า	10
2.1.1 แนวคิดพื้นฐานทางความถี่และช่วงเวลา	10
2.1.2 แบบจำลองมาร์คอฟ 2 สถานะ	12
2.1.3 การสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า	14
2.2 แบบจำลองของโหลด	17
2.2.1 แบบจำลองของโหลดชนิด Cumulative state	17
2.2.2 แบบจำลองของโหลดชนิด Individual state	21
2.3 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้	27
2.3.1 การคำนวณค่าดัชนี Loss of Load Expectation (LOLE) และค่าดัชนี Expected Energy Not Supplied (EENS)	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.3.2 การคำนวณค่าดัชนี Frequency & Duration (F&D)	30
2.4 การคำนวณค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม	33
2.4.1 มูลค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับ	33
2.4.2 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า	34
2.4.3 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้า	37
2.4.4 การประเมินค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสมในระบบผลิตไฟฟ้า	38
3 ทฤษฎีของฟิชชีเซต ตัวเลขฟิชชี และ ตรีรกะฟิชชี	40
3.1 แนวคิดและลักษณะเบื้องต้นของทฤษฎีฟิชชี	40
3.2 ทฤษฎีฟิชชีเซต	41
3.2.1 การนำเสนอของฟิชชีเซต	44
3.2.2 α -Cut หรือ α -Level ของฟิชชีเซต	45
3.2.3 คุณสมบัติความเป็น Convex	46
3.2.4 หลักการ Extension	47
3.2.5 ฟิชชคณิตบนช่วง	49
3.2.6 ตัวเลขฟิชชี	52
3.2.7 ฟิชชคณิตฟิชชี	54
3.2.8 สมการฟิชชี	58
3.3 ตรีรกฟิชชีและระบบการวินิจฉัยแบบฟิชชี	59
3.3.1 ตัวดำเนินการเชิงตรีรก	61
3.3.2 ระบบวินิจฉัยแบบฟิชชี	62
4 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟิชชีเซตในขั้นตอนการประเมินค่าความเชื่อถือได้ และการหาค่ากำลังการผลิตที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า	68
4.1 การคิดผลของความไม่แน่นอนในการประเมิน ค่าดัชนีความเชื่อถือได้แบบดั้งเดิม	68
4.1.1 การคิดผลของความไม่แน่นอนของค่า FOR	68
4.1.2 การคิดผลของความไม่แน่นอนของโหลด	70

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของพีชชีเซตในการสร้างแบบจำลอง ของระบบผลิตไฟฟ้า	71
4.2.1 แนวคิดพื้นฐาน	71
4.2.2 แบบจำลองมาร์คอฟพีแบบ 2 สถานะ	72
4.2.3 การสร้างตารางความน่าจะเป็นในการขาดกำลังการผลิต (ตาราง COPT) .	73
4.3 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของพีชชีเซตในการสร้างแบบจำลองของโหลด	80
4.3.1 แนวคิดพื้นฐาน	80
4.3.2 การสร้างเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม (CLDC)	80
4.3.3 การสร้างแบบจำลองชนิด Cumulative state	82
4.3.4 การสร้างแบบจำลองชนิด Individual state	85
4.4 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้า	86
4.4.1 การคำนวณค่าดัชนี LOLE และ EENS	86
4.4.2 การคำนวณค่าดัชนี Frequency & Duration (F&D)	90
4.5 การคำนวณค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม	92
4.5.1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า	92
4.5.2 ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องมาจากไฟฟ้าดับ	93
4.5.3 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้า	95
4.5.4 การหาค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม	96
5 ผลการทดสอบ.....	98
5.1 การทดสอบกับระบบทดสอบของ IEEE (IEEE-RTS)	98
5.2 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (LOLE, EENS และ F&D)	102
5.2.1 ค่าดัชนี Loss of Load Expectation และ Expected Energy Not Supplied	102
5.2.2 ค่าดัชนี Frequency & Duration	105
5.3 การคำนวณค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม	110
5.3.1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า	110
5.3.2 การคำนวณฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า	111

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5.3.3 การคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ	117
5.3.4 การคำนวณค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม	118
6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	121
6.1 สรุปผลการวิจัย	121
6.2 ข้อเสนอแนะ	122
รายการอ้างอิง	123
ภาคผนวก	125
ประวัติผู้วิจัย	132

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แบบจำลองความน่าจะเป็นของโหลดตามตัวอย่างที่ 2.1	19
2.2 แบบจำลองความน่าจะเป็นของโหลดตามตัวอย่างที่ 2.1	21
2.3 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของโหลด ชนิด Individual state	24
2.4 ข้อมูลของโหลดรายวันในตัวอย่างที่ 2.2	25
2.5 แบบจำลองของโหลดชนิด Individual state ในตัวอย่างที่ 2.2	25
2.6 ข้อมูลของโหลดหลังจากการแบ่งกลุ่มของโหลดในตัวอย่างที่ 2.2 ออกเป็นช่วงๆ ...	26
2.7 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าในผู้ใช้แต่ละประเภท	36
3.1 คุณสมบัติทางพีชคณิตของการดำเนินการบนช่วง	51
3.2 การเปรียบเทียบตารางความจริงของตัวดำเนินการเชิงตรรกพื้นฐานแบบดั้งเดิม กับตัวดำเนินการเชิงตรรกพื้นฐานแบบพีชชี	61
4.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของ COPT ย่อย	73
4.2 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตัวอย่างที่ 4.1	76
4.3 ค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดี และสถานะเสีย ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตัวอย่างที่ 4.1	77
4.4 ตาราง COPT ย่อยของกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 10 MW จำนวน 3 เครื่อง	78
4.5 ตาราง COPT ย่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 15 MW	78
4.6 ตาราง COPT ย่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 20 MW	78
4.7 ตาราง COPT ผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมตาราง COPT ครั้งที่ 1 ในตัวอย่างที่ 4.1	79
4.8 ตาราง COPT ผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมตาราง COPT ครั้งที่ 2 (COPT ของระบบ)	79
4.9 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของโหลด ชนิด Individual state แบบพีชชี	86
4.10 ค่า \tilde{c}_i และ \tilde{E}_i ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.14 และ 4.19 ในตัวอย่างที่ 4.3	89
4.11 กฎ If-then ของระบบการวินิจฉัยเชิงพีชชีที่ออกแบบไว้	94
5.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบของ IEEE	98
5.2 ค่า FOR ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในระบบ IEEE	99
5.3 ตัวอย่างบางสถานะของ COPT ของระบบ	100
5.4 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่คำนวณได้ของระบบ IEEE	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.5	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณีไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอน ของค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองของโหลด 104
5.6	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณีไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอน ของค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 105
5.7	ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองของโหลดชนิด Individual state 106
5.8	ตัวอย่างบางสถานะของตาราง Margin ของระบบ IEEE 107
5.9	ดัชนีความเชื่อถือได้ "Frequency" และ "Duration" ของระบบ IEEE 107
5.10	ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองของโหลดชนิด Cumulative state 109
5.11	ดัชนีความเชื่อถือได้ "Frequency" และ "Duration" ที่ได้จาก แบบจำลองของโหลดชนิด Cumulative state 109
5.12	ตัวอย่างค่า $E\bar{E}S_i$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 111
5.13	อัตราการใช้พลังงานของผู้ใช้แต่ละประเภท 116
5.14	ฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า (CCDF) แบบพีชชี 116
5.15	ค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (IEAR) แบบพีชชี 117
5.16	ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มเติม 118
5.17	ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม 119

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ขอบเขตการทำงานพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	3
1.2 แบบจำลองระบบสำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ในระดับชั้นที่ 1	4
1.3 แบบจำลองที่ใช้ในการประเมินค่าความเชื่อถือได้ในระบบผลิตไฟฟ้า	5
1.4 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในระบบไฟฟ้า	6
2.1 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า	10
2.2 การทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าเมื่อประมาณช่วงเวลา ที่อุปกรณ์อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย	11
2.3 แผนภาพของการเคลื่อนที่ระหว่างสถานะในแบบจำลองมาร์คอฟฟี	12
2.4 โหลดรายชั่วโมงของตัวอย่างที่ 2.1	18
2.5 แบบจำลองของโหลดชนิด Cumulative state	19
2.6 แผนภาพแบบจำลองของโหลดชนิด Cumulative state เมื่อพิจารณาโหลดเป็นแบบรายชั่วโมง	20
2.7 กราฟแสดงความถี่เมื่อพิจารณาโหลดเป็นแบบ Cumulative state load model	20
2.8 แบบจำลองของโหลดรายวันโดยใช้ Individual state load model	22
2.9 ลักษณะของแบบจำลองของโหลดชนิด Individual state	22
2.10 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงของโหลดสำหรับ แบบจำลองของโหลดชนิด Individual state	23
2.11 การคำนวณค่าดัชนี LOLE โดยการพิจารณา เส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม (Cumulative Load Duration Curve: CLDC)	28
2.12 การคำนวณค่าดัชนี EENS โดยการพิจารณา เส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม (Cumulative Load Duration Curve: CLDC)	29
2.13 การประเมินมูลค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับ	34
2.14 แบบจำลองความเสียหายแบบมูลค่าความเสียหายต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด	35
2.15 แบบจำลองความเสียหายแบบมูลค่าความเสียหายต่อพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	36
2.16 ฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า	37
3.1 การเปรียบเทียบระหว่างลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม(Crisp set) และฟัซซีเซต	43
3.2 ลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม(Crisp set) และฟัซซีเซตตามตัวอย่างที่ 1	44
3.3 ลักษณะของความเป็น Convex ของฟัซซีเซต และลักษณะฟัซซีเซตที่ Normalized	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ	53
3.5 ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ (ต่อ)	54
3.6 การบวกระหว่างตัวเลขฟัซซี	56
3.7 การลบระหว่างตัวเลขฟัซซี	57
3.8 การคูณระหว่างตัวเลขฟัซซี	57
3.9 การหารระหว่างตัวเลขฟัซซี	58
3.10 การเชื่อมโยงจากกลุ่มของค่าอินพุตไปยังกลุ่มของค่าเอาต์พุต โดยระบบ FIS ..	60
3.11 ตัวอย่างของการกำหนดค่าของตัวแปรเชิงภาษา "ความเร็ว"	61
3.12 การเปรียบเทียบระหว่างตัวดำเนินการเชิงตรรกแบบฟัซซีและแบบดั้งเดิม	62
3.13 การทำ Fuzzification กับตัวแปรอินพุต	63
3.14 การดำเนินการทางตรรกแบบฟัซซีตามกฎ "If-then" ที่กำหนดไว้	64
3.15 การเชื่อมโยงจากส่วนของ "เหตุ" ไปยังส่วนของ "ผล" ตามกฎที่กำหนดขึ้น ...	65
3.16 การรวม(Aggregation) ผลลัพธ์ที่ได้จากทุกๆกฎเข้าด้วยกัน	66
3.17 การทำ Defuzzification	66
3.18 กระบวนการคำนวณของระบบ FIS ที่มี m กฎ n อินพุต และ 1 เอาต์พุต	67
4.1 การประมาณการกระจายแบบปกติออกเป็นช่วง 7 ช่วงตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	70
4.2 ตารางอาร์เรย์ 2 มิติ (2-dimensional state array) ของ $COPT_x$ ที่ได้จากการรวมกันระหว่าง $COPT_x$ และ $COPT_y$	75
4.3 ลักษณะตัวเลขฟัซซีของค่าของระยะเวลาที่อุปกรณ์ สามารถทำงานได้ และระยะเวลาที่อุปกรณ์เสีย	76
4.4 ตัวเลขฟัซซีของค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะเสีย (Forced Outage Rate: FOR)	77
4.5 ตัวเลขฟัซซีของค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดี	78
4.6 ตัวอย่างลักษณะของฟังก์ชัน $S_L(\alpha)$ และ $S_R(\alpha)$	81
4.7 เส้นโค้งระยะเวลาของโหนดสะสมแบบฟัซซีตามตัวอย่างที่ 4.2	82
4.8 การแบ่งช่วงของโหนดเพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วง	83
4.9 การพิจารณาโหนดแบบฟัซซีเพื่อคำนวณความน่าจะเป็นของโหนดแต่ละระดับ	84
4.10 การคำนวณค่าพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายโดยการพิจารณาเส้นโค้ง CLDC	88

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ตัวเลขฟิชชี LOLE ที่คำนวณได้ในตัวอย่างที่ 4.3	89
4.12 ตัวเลขฟิชชี EENS ที่คำนวณได้ในตัวอย่างที่ 4.3	90
4.13 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุทและเอาต์พุทของระบบวินิจฉัยเชิงฟิชชี ...	94
4.14 กระบวนการสร้างตัวเลขฟิชชีของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท	95
5.1 ตัวเลขฟิชชี FOR ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ IEEE	99
5.2 เส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสมแบบฟิชชีของระบบ IEEE	101
5.3 ค่าดัชนี Loss of Load Expectation (LOLE) แบบฟิชชี	102
5.4 ค่าดัชนี Expected Energy Not Supplied (EENS) แบบฟิชชี	103
5.5 โหลดรายวันแบบฟิชชีของระบบ IEEE	106
5.6 ดัชนีความเชื่อถือได้ Frequency แบบฟิชชี	108
5.7 ดัชนีความเชื่อถือได้ Duration แบบฟิชชี	108
5.8 ดัชนีความเชื่อถือได้ Frequency แบบฟิชชีที่ได้จาก แบบจำลองโหลดชนิด Cumulative state	110
5.9 การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการสำรวจ และตัวเลขฟิชชีของค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ FIS ในประเภทผู้อยู่อาศัย ระยะเวลา 1 ชม.	112
5.10 การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าและตัวเลขฟิชชี ของค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ FIS ในประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ระยะเวลา 1 ชม.	113
5.11 การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าและตัวเลขฟิชชี ของค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ FIS ในประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ระยะเวลา 8 ชม.	113
5.12 การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าและตัวเลขฟิชชี ของค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ FIS ในประเภทหน่วยงานรัฐบาล และสถาบันต่างๆ ระยะเวลา 4 ชม.	114
5.13 การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าและตัวเลขฟิชชี ของค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ FIS ในประเภทองค์กรธุรกิจต่างๆ ระยะเวลา 20 นาที	114

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.14	การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าและตัวเลขพีชชี ของค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ FIS ในประเภทอาคารสำนักงาน ระยะเวลา 8 ชม.	115
5.15	การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าและตัวเลขพีชชี ของค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ FIS ในประเภทเกษตรกรรม ระยะเวลา 1 ชม.	115
5.16	ฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า (CCDF) แบบพีชชี	117
5.17	ค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (IEAR) แบบพีชชี	118
5.18	การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายเทียบกับจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามา	119