การประยุกต์ใช้หลักการฟัซซีในการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

นางสาวศิริพร คติธรรมารักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-347-302-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF FUZZY PRINCIPLE IN DISTRIBUTION SYSTEM RELIABILITY EVALUATION

Miss Siriporn Katithummarugs

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2000

ISBN 974-347-302-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้หลักการฟัซซีในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
โดย	นางสาวศิริพร คติธรรมารักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธ์ พิทยพัฒน์)

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

…… กรรมการ
(อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย)

…… กรรมการ
(นายอภิรักษ์ เหลืองธุวปราณีต)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริพร คติธรรมารักษ์ : การประยุกต์ใช้หลักการฟัซซีในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า (APPLICATION OF FUZZ PRINCIPLE IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS) อ. ที่ปรึกษา รศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 170 หน้า. ISBN 974-347-302-5

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นเกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนหลายประการ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลทางสถิติของอุปกรณ์ ได้แก่ อัตราการเสียและอัตราการซ่อมแซม และปริมาณโหลด เพื่อที่จะทำให้การพิจารณาครอบคลุมความไม่แน่นอนในข้อมูลที่นำมาจากสถิติเหล่านี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำตัวเลขฟัซซีมาประยุกต์ใช้ โดยนำเสนอวิธีการประเมินความเชื่อถือได้ 4 วิธี ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี, วิธีการวิเคราะห์เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี, วิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลาเมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี และวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลาเมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี จากนั้นจึงได้นำวิธีเหล่านี้ไปทดสอบกับระบบทดสอบ RBTS บัส 2 ซึ่งให้ผลลัพธ์ประกอบด้วย ดัชนีความเชื่อถือได้แต่ละจุดโหลด ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ และ วิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลา จากผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอนี้ จะให้ข้อมูลเพื่อการวางแผนการปรับปรุงและขยายระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เป็นประโยชน์และครอบคลุมมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีแบบดั้งเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต_____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

4270562121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD : RELIABILITY INDICES / FUZZY SET THEOPY / FUZZY NUMBER / DISTRIBUTION SYSTEM / INTERRUPTED ENERGY RATES / ANALYTICAL METHOD / TIME SEQUENTIAL MONTE CARLO SIMULATION
SIRIPORN KATITHUMMARUGS : APPLICATION OF FUZZ PRINCIPLE IN ELECTRICAL DISTRIBUTION SYSTEMS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D.
ISBN 974-347-302-5

Since reliability assessment for electrical distribution system concerns several uncertainties consisting of statistical equipment data e.g. failure and repair rates, and loads. To cope with this problem, fuzzy number is introduced in this thesis. With the application of fuzzy principle, this thesis proposes four methods for assessing electrical distribution system consisting of 1) analytical method with input data representation base on fuzzy number, 2) analytical method with both input and load data represented by fuzzy number, 3) sequential Monte Carlo simulation with input data by fuzzy number, and 4) sequential Monte Carlo simulation with both input and load data represented by fuzzy number. All the proposed methods have been tested with RBTS-bus#2 test system. The obtained result consists of reliability indices at each load point, system reliability indices, and interrupted energy rates. Then they are compared with the obtained results from conventional analytical method and conventional sequential Monte Carlo simulation, we found that the proposed methods can provide more flexible result than conventional methods, which can be usefully implemented in electrical distribution system planing.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's signature_____

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature_____

Academic year 2000 Co-advisor's signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีมาตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ อาจารย์ไชยะ แช่มช้อย และคุณอภิรักษ์ เหลืองธุวปราณีต ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบคุณ นายกุลยศ อุดมวงศ์เสรี และนายกันติ์ สมบัติวิไลเลิศ สำหรับข้อแนะนำ และ ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ยิ่งตลอดมา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจนเพื่อนพี่ น้อง ทุก ๆ คนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นางสาวศิริพร คติธรรมารักษ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

บทที่

1. บทนำทั่วไป..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 5

1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 5

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์..... 5

1.5 เนื้อหาวิทยานิพนธ์..... 5

2. แบบจำลองของอุปกรณ์ไฟฟ้า..... 7

2.1 อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... 7

2.2 สภาวะการทำงานและการล้มเหลวของอุปกรณ์..... 9

2.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์..... 9

3. ทฤษฎีของฟัซซีเซต ตัวเลขฟัซซี..... 13

3.1 แนวคิดและลักษณะเบื้องต้นของทฤษฎีฟัซซี..... 13

3.2 ทฤษฎีฟัซซี่เซต..... 14

3.2.1 การนำเสนอของฟัซซีเซต..... 17

3.2.2 α- Cut หรือ α-Level ของฟัซซีเซต..... 18

3.2.3 คุณสมบัติความเป็น Convex..... 19

3.2.4 หลักการ Extension..... 20

3.2.5 พีชคณิตบนช่วง..... 22

3.2.6 ตัวเลขฟัซซี..... 25

3.2.7 พีชคณิตฟัซซี..... 27

3.2.8 สมการฟัซซี..... 31

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2.9 Defuzzification	32
4. การประเมินความเชื่อถือได้	35
4.1 การประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์	35
4.1.1 วิธีลดทอนเครือข่าย	35
4.1.2 วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข	37
4.1.3 วิธีมินิมัลคัตเซต	38
4.1.4 การวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลว	40
4.1.5 วิธีการหาเส้นทางการจ่ายไฟฟ้า	41
4.2 การประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล	46
4.2.1 การสุ่มสถานะ	47
4.2.2 การสุ่มช่วงเวลาการทำงาน	48
4.2.3 การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ	50
4.3 สรุปวิธีการคำนวณ	53
5. ดัชนีสากลความมั่นคงของระบบจำหน่ายไฟฟ้า	55
5.1 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด	55
5.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า	56
6. การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	59
6.1 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า	59
6.2 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า	60
7. การทดสอบ การคำนวณและการวิเคราะห์	
7.1 ระบบทดสอบ RBTS บัส 2	63
7.2 ผลการทดสอบ	67
7.3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล	93
8. สรุปและข้อเสนอแนะ	
8.1 สรุปผลการวิจัย	97
8.2 ข้อเสนอแนะ	98
รายการอ้างอิง	99
ภาคผนวก	101

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

ประวัติผู้วิจัย..... 170

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 คุณสมบัติทางพีชคณิตของการดำเนินการบนช่วง..... 24

7.1 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์..... 64

7.2 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์เมื่อเป็นฟัซซี..... 64

7.3 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท (บาท/kW เฉลี่ย)..... 65

7.4 ประเภท จำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟแต่ละจุดโหลด
ของระบบทดสอบ บัส 2..... 66

7.5 ประเภท จำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟแต่ละจุดโหลด
ของระบบทดสอบ บัส 2 เมื่อกำหนดให้เป็นฟัซซี..... 67

7.6 ข้อมูลความยาวสายป้อนของระบบทดสอบ บัส 2..... 67

7.7 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์..... 69

7.8 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี..... 71

7.9 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี
โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 1 และ 2..... 72

7.10 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี
โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 3 และ 4..... 73

7.11 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี
โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 5 และ 6..... 74

7.12 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี
โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 7 และ 8..... 75

7.13 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี
โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 9 และ 10..... 76

7.14 ผลการคำนวณด้วยวิธี วิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี
โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 11 และ 12..... 77

7.15 ผลการคำนวณด้วยวิธี จำลองเหตุการณ์แบบมอนติ คาร์โล..... 83

7.16 ผลการคำนวณด้วยวิธี จำลองเหตุการณ์แบบมอนติ คาร์โล
เมื่อให้ข้อมูลอุปกรณ์เป็นฟัซซี..... 84

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

7.17 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบ มอนติ คาร์โล เมื่อให้ข้อมูล ของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 1 และ 2..... 85
7.18 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบ มอนติ คาร์โล เมื่อให้ข้อมูล ของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 3 และ 4..... 86
7.19 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบ มอนติ คาร์โล เมื่อให้ข้อมูล ของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 5 และ 6..... 87
7.20 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบ มอนติ คาร์โล เมื่อให้ข้อมูล ของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 7 และ 8..... 88
7.21 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบ มอนติ คาร์โล เมื่อให้ข้อมูล ของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 9 และ 10..... 89
7.22 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบ มอนติ คาร์โล เมื่อให้ข้อมูล ของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1 ระดับที่โหลดที่ 11 และ 12..... 90
7.23 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์และ วิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติ คาร์โล..... 93

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

1.1 การแบ่งระดับชั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้..... 3

1.2 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในระบบไฟฟ้า..... 4

2.1 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์..... 10

2.2 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์..... 10

2.3 แผนผังการล้มเหลวแบบพาสสีฟและแบบแอคทีฟ..... 11

3.1 การเปรียบเทียบระหว่างลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม(Crisp set) และฟัซซีเซต..... 16

3.2 ลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม(Crisp set) และฟัซซีเซตตามตัวอย่างที่ 1..... 17

3.3 ลักษณะของความเป็น Convex ของฟัซซีเซต และลักษณะฟัซซีเซตที่ Normalized.... 19

3.4 ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ..... 26

3.5 ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ (ต่อ)..... 27

3.6 การบวกระหว่างตัวเลขฟัซซี..... 29

3.7 การลบระหว่างตัวเลขฟัซซี..... 30

3.8 การคูณระหว่างตัวเลขฟัซซี..... 30

3.9 การหารระหว่างตัวเลขฟัซซี..... 31

4.1 ระบบอนุกรม..... 35

4.2 ระบบขนาน..... 36

4.3 ตัวอย่างการยุบส่วนของระบบที่ต่อแบบขนานและแบบอนุกรม..... 36

4.4 ตัวอย่างของระบบที่ซับซ้อน..... 37

4.5 การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน..... 37

4.6 มินิมัลคัตเซตของระบบในรูปที่ 4.4..... 38

4.7 การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณค่า U..... 40

4.8 ระบบตัวอย่าง..... 40

4.9 แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลวของระบบ..... 41

4.10 แสดงการตรวจสอบหาเส้นทางในวิธีย้อนกลับไปมา..... 42

4.11 แสดงการหาเส้นทางแบบสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน..... 42

4.12 แสดงการหาเส้นทางโดยแสดงการกระโดดกลับไปยังจุดแยก..... 43

4.13 ระบบตัวอย่างที่ซับซ้อนที่แสดงเส้นทางการจ่ายไฟและเลขโนด..... 43

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 วิธีการสุ่มสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์……..47
4.15 แสดงลำดับการทำงานของระบบที่มีอุปกรณ์แบบซ่อมแซมได้ 2 ตัว…….. 49
4.16 แบบจำลองการสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ…… 51
4.17 การสุ่มสถานะถัดไปของระบบด้วยวิธีการสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ……. 53
7.1 ระบบทดสอบ บัส 2…… 65
7.2 ฟังชันโหลด…… 66
7.3 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟังชัน…….. 70
7.4 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1 และ 4…….. 78
7.5 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1…… 78
7.6 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1 และ 4….. 78
7.7 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1…… 79
7.8 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด
จุดโหลด 1 และ จุดโหลด 4…….. 79
7.9 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1….. 79
7.10 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 4…… 80
7.11 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 4……...80
7.12 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 4….80
7.13 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7…….. 81
7.14 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7…….. 81
7.15 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7……...81
7.16 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7…… 82
7.17 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7….82
7.18 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7….82
7.19 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1……91
7.20 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลด 6 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1……..91

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

7.21 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลด 6 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1……91
7.22 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลด 7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1…… 92
7.23 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลด 7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1…….. 92
7.24 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลด 7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1……... 92

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำทั่วไป

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ เนื่องจากมนุษย์ใช้ไฟฟ้าในการดำเนินกิจกรรมมากมาย ซึ่งไฟฟ้าจะจ่ายผ่านระบบจำหน่ายไปสู่ผู้ใช้ในพื้นที่ต่างๆ ดังนั้น การขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง อาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ใช้ไฟฟ้ามากน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะกิจกรรม โดยเฉพาะในปัจจุบันที่ความเจริญในเขตภูมิภาคเพิ่มขึ้น มีโรงงานอุตสาหกรรม ธุรกิจการท่องเที่ยว และกิจกรรมอื่นๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งต้องใช้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เดินเครื่องจักร อุปกรณ์สำนักงาน และเครื่องอำนวยความสะดวกต่างๆ ถ้าเกิดไฟฟ้าขัดข้องทำให้ธุรกิจที่ปัจจุบันมีการแข่งขันกันสูงมากนั้นเสียหายได้มาก ดังนั้นคุณภาพของไฟฟ้าในระบบจำหน่ายจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

ด้วยเหตุผลข้างต้น ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้า คาดหวังเรื่องคุณภาพและความต่อเนื่องของการบริการสูง นอกเหนือจากความต้องการในการมีปริมาณไฟฟ้าใช้อย่างเพียงพอ ซึ่งผู้ใช้ในทุกๆประเภทต้องการให้ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความเชื่อถือได้สูง คือ เกิดไฟฟ้าดับให้น้อยที่สุด แม้ว่าในทางปฏิบัติความไม่ต่อเนื่องของการบริการอาจเกิดได้จากสาเหตุทางธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ แต่สามารถป้องกันได้ด้วย การออกแบบ วางแผน จนถึงการปฏิบัติงานที่ดี

การประเมินความเชื่อถือได้ เป็นการคาดการเหตุการณ์ในอนาคตที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ความถี่ของการเกิดไฟฟ้าดับ ระยะเวลาที่อาจเกิดไฟฟ้าดับในแต่ละครั้ง เป็นต้น ซึ่งการคาดการเหตุการณ์ในอนาคต จะอาศัยวิธีทางสถิติ ร่วมกับข้อมูลของอุปกรณ์และระบบไฟฟ้ากำลัง ความเชื่อถือได้ที่ประเมินได้จะใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวางแผน ออกแบบระบบไฟฟ้า โดยการกำหนดคุณภาพของอุปกรณ์ที่จะใช้ในระบบไฟฟ้ากำลัง และตำแหน่ง ชนิด และจำนวนของอุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ตัดตอนในระบบไฟฟ้ากำลัง

โดยทั่วไปการพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถแบ่งการพิจารณาออกได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1. ความเพียงพอของระบบ (System adequacy) หมายถึง ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังที่จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและพลังงานทั้งหมดได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบ โดยที่อุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังยังคงทำงานภายในพิกัดและระดับแรงดันอยู่ในช่วงที่กำหนด การศึกษาความเชื่อถือได้ที่เกี่ยวข้องกับ

ความเพียงพอของระบบ จะเป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะอยู่ตัว (Steady-State condition) เพื่อทำการตรวจสอบปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้า

2. ความมั่นคงของระบบ (System security) หมายถึง ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังที่จะสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น เกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง หรือ อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังเกิดขัดข้องโดยไม่ทราบล่วงหน้า เป็นต้น การศึกษาความเชื่อถือได้ในด้านความมั่นคงของระบบจะทำการวิเคราะห์ในสภาวะพลวัต (Dynamic condition)

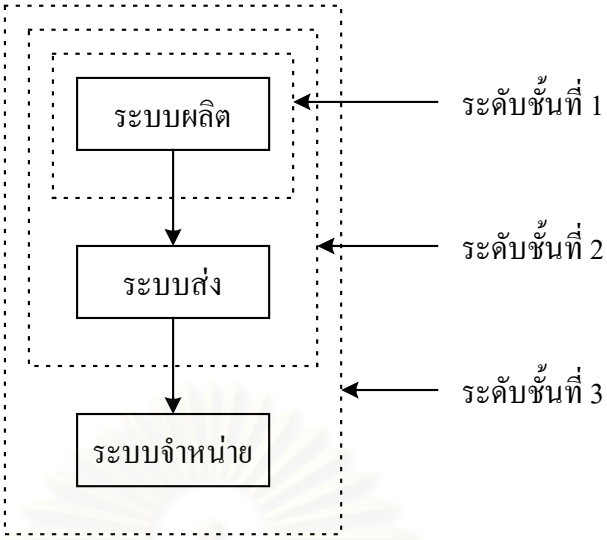
ขอบเขตการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ คือ ระบบผลิต ระบบส่ง และ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 การแบ่งขอบเขต ดังกล่าวเพื่อให้ง่ายต่อการจัดระบบ การวางแผน การควบคุม และ การวิเคราะห์ และยังสะดวกต่อการแบ่งความรับผิดชอบในการทำงานของระบบในส่วนต่างๆอีกด้วย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ระดับชั้นที่ 1 (Hierarchical Level One,HL1) พิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าเพียงระบบเดียว โดยเป็นการศึกษาถึงความสามารถของระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า

ระดับชั้นที่ 2 (Hierarchical Level Two,HL2) เป็นการพิจารณารวมระบบผลิตไฟฟ้าและระบบส่งไฟฟ้าเข้าด้วยกัน โดยจะเรียกว่าระบบไฟฟ้าผสม (Composite systems) หรือระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (Bulk power systems)

ระดับชั้นที่ 3 (Hierarchical Level Three,HL3) เป็นการพิจารณารวมระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งไฟฟ้าและระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมดเข้าด้วยกัน หากวิเคราะห์โดยละเอียดจะยุ่งยากซับซ้อนมากเกินไป ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงทำการวิเคราะห์เฉพาะในส่วนของระบบจำหน่ายเท่านั้น สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาความเชื่อถือได้ในระดับที่สาม

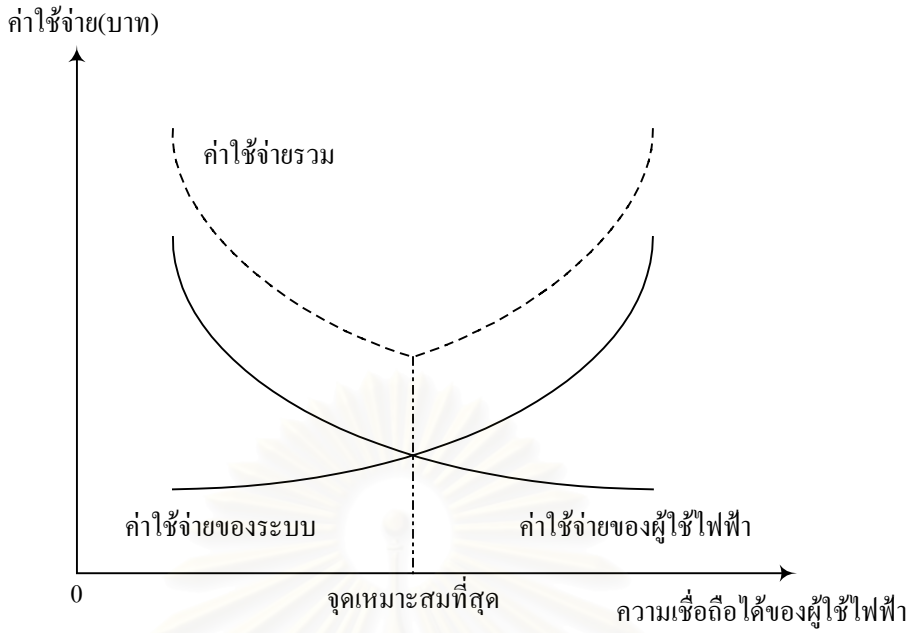
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 การแบ่งระดับชั้นในการศึกษาความเชื่อถือได้

สำหรับการพิจารณาระดับความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะคำนวณออกมาได้เป็นค่าดัชนีต่างๆ เช่น SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Duration Index) , CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) , ASAI (Average Service Availability Index) , ASUI (Average Service Unavailability Index) , AENS (Average Energy Not Supplied) เป็นต้น เนื่องจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อเกิดเหตุขัดข้อง จะมีผลกระทบต่อผู้ใช้ ณ แต่ละจุดโหลดโดยตรง ดังนั้นนอกจากดัชนีความเชื่อถือได้แล้ว ยังมีการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ ณ แต่ละจุดโหลดด้วย ได้แก่ λ (Average failure rate) , r (Average outage time) , U (Average annual outage time)

การปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มีความเชื่อถือได้สูงขึ้นนั้น ทำได้โดยการลงทุนปรับปรุงอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้มีคุณภาพมากขึ้น และหรือ เพิ่มอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อลดบริเวณและระยะเวลาของการเกิดไฟฟ้าดับ การลงทุนดังกล่าวจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจ่ายไฟฟ้าสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาให้การลงทุนเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น มีความเหมาะสมกับค่าใช้จ่ายรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งแสดงไว้ตามรูปที่ 1.2 จากกราฟจะเห็นได้ว่าจุดที่มีความเหมาะสมนั้น ราคาและค่าใช้จ่ายรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้จำหน่ายไฟฟ้าจะมีค่าต่ำสุด



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในระบบไฟฟ้า

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า การเพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น จะต้องใช้เงินในการลงทุน การที่ประเมินความเชื่อถือได้ออกมาเป็นค่าเพียงค่าเดียว อาจจะทำให้การตัดสินใจที่จะลงทุนเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีมูลค่าสูงเกินความจำเป็นได้

เดิมการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังนั้น จะใช้วิธีวิเคราะห์ (Analytical method) ซึ่งอาศัยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ให้สอดคล้องกับแบบจำลองซึ่งมีความแม่นยำในการคำนวณ แต่มีข้อเสียคือ สำหรับระบบจำหน่ายเดียวกัน แม้ว่าจะคำนวณหลายครั้ง คำตอบที่ได้จะให้ค่าเพียงค่าเดียวที่เท่ากันในทุกครั้ง ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้วางแผนความมั่นใจสูงเกินไป และอาจทำให้มีความยืดหยุ่นในการวางแผนการออกแบบระบบ และการตัดสินใจในการลงทุนเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้นั้นอาจจะลดลง ด้วยเหตุที่การไฟฟ้าจะถูกแปรรูปให้เป็นเอกชนในอนาคต การลงทุนเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้นั้นจะต้องได้รับการพิจารณาอย่างเข้มงวดมากขึ้น ว่าให้ผลคุ้มค่ากับการลงทุนมากน้อยเพียงใด ดังนั้นเพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการวางแผนมากขึ้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอแนวคิดและหลักการของฟัซซี เพื่อนำไปประยุกต์กับหลักการของการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง และการประเมินความเชื่อถือได้โดยวิธีการจำลองเหตุการณ์ (Simulation method) ซึ่งเป็นการจำลองเหตุการณ์การเสียของอุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้า ด้วยการสุ่มตามหลักการทางคณิตศาสตร์แล้วพิจารณาถึงผลกระทบของอุปกรณ์ที่เสียนั้นต่อระบบ ซึ่งมีข้อดี คือ การคำนวณแต่ละครั้งในระบบจำหน่ายเดียวกันค่าที่ได้อาจจะมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ไม่เกิดความเชื่อมั่นมากเกินไป

และการคำนวณก็ไม่ยุ่งยากเมื่อระบบจำหน่ายมีความซับซ้อนมากขึ้น แม้ว่าจะต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าวิธีการวิเคราะห์ก็ตาม

เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายมีความไม่แน่นอนอยู่ด้วย เช่น สถิติการทำงานของอุปกรณ์ ปริมาณของโหลดในแต่ละจุดโหลด ดังนั้นในที่นี้จึงใช้ทฤษฎีฟัซซีเซตซึ่งมีคุณสมบัติเด่นด้านการจัดการกับข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนรวมอยู่ เพื่อใช้อธิบายและแสดงลักษณะของข้อมูลให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าดัชนีที่คำนวณออกมานั้นแสดงพฤติกรรมของระบบได้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาผลของการประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต(Fuzzy set theory) ในการแสดงถึงความไม่แน่นอน(Uncertainty) ของข้อมูลที่มีผลต่อการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.เพื่อนำค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่คำนวณจากวิธีการที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยวิธีอื่น สำหรับใช้ประกอบการตัดสินใจในการออกแบบและวางแผนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

3.เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการหาค่าความเชื่อถือได้ ที่ประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซีเซต

1.3 ขั้นตอนศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีฟัซซีเซต และการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ
3. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบที่จะนำมาใช้ทดสอบ
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
5. ทำการออกแบบ ปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรม
6. เปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างดัชนีความเชื่อถือได้ที่ได้จากวิธีที่เสนอ กับวิธีแบบดั้งเดิม
7. วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย
8. เรียบเรียงผลงานวิจัย พิมพ์ผลงาน และจัดเข้ารูปเล่มเพื่อทำการเสนอต่อคณะกรรมการต่อไป

1.4. ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

1. ทำการประเมินความเชื่อถือได้เฉพาะระบบจำหน่ายเท่านั้น
2. พิจารณาการกระจายความน่าจะเป็นของข้อมูลแบบ Exponential
3. ไม่คำนึงถึงการถ่ายโอนโหลดแบบจำกัด
4. พิจารณาความสามารถในการรองรับโหลดของสายป้อนโดยอาศัยค่าพิกัดกระแสของสายป้อน

1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง อุปกรณ์ต่างๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบบจำลองของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานที่จำเป็นของ ฟัซซีเซต (Fuzzy set) ตัวเลขฟัซซี (Fuzzy number) พีชคณิตฟัซซี (Fuzzy arithemtic)

บทที่ 4 กล่าวถึง การประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีวิเคราะห์ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการลดทอนเครือข่าย วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข วิธีมินิมัลคัตเซต วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลว วิธีการหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้า การประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ซึ่งประกอบด้วยวิธีสุ่มสถานะ วิธีสุ่มช่วงเวลาการทำงาน และวิธีการสุ่มการเปลี่ยสถานะของระบบ

บทที่ 5 กล่าวถึง ดัชนีความมั่นคงของระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด และดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟฟ้า

บทที่ 6 กล่าวถึง ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือแบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท (Sector Customer Damage Function : SCDF) การคำนวณหาฟังก์ชันความเสียหายโดยรวม (Composite Customer Damage Function : CCDF) การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายวิธีต่างๆ ประกอบด้วย วิธีระบุเหตุขัดข้อง วิธีดัชนีพื้นฐาน และดัชนีระบบ

บทที่ 7 กล่าวถึง ผลการทดสอบที่ได้จากการใช้วิธีที่นำเสนอ โดยทดสอบกับระบบทดสอบ RBTSBus 2 และเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากวิธีที่นำเสนอกับวิธีแบบดั้งเดิม รวมถึงการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้

บทที่ 8 กล่าวถึง บทสรุป ประโยชน์ที่ได้ และ ข้อดี-ข้อเสียของวิธีการที่นำเสนอ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แบบจำลองของอุปกรณ์

2.1 อุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตามมาตรฐานการก่อสร้าง วัสดุ อุปกรณ์ ในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค[1]ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้จะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์หลักต่างๆ ดังนี้

1. สายไฟฟ้า (Conductor) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สายเปลือยและสายหุ้มฉนวน การเลือกใช้สายไฟฟ้าแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ หากต้องการระบบไฟฟ้าที่มีความเชื่อถือได้สูงควรใช้สายเคเบิลใต้ดินแต่ก็จะต้องลงทุนสูงตามไปด้วย

2. หม้อแปลง (Distribution Transformer) เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ต่ำลง เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้ประเภทต่างๆด้วยแรงดันต่ำต่อไป

3. เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Circuit Breaker) โดยทั่วไปใช้ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถทำงานปิดกลับได้อัตโนมัติได้

4. รีโคลสเซอร์ (Recloser)

4.1 ใช้ติดตั้งในระบบจำหน่ายที่มีปัญหาเกิดผิดพร่องแบบชั่วคราวบ่อยๆ

4.2 ใช้ติดตั้งในสายเมน หรือสายแยก ที่อยู่ห่างจากสถานีไฟฟ้าตั้งแต่ 10 กิโลเมตรขึ้นไป และในสายเมน หรือสายแยกที่มีปัญหาเกิดผิดพร่องแบบชั่วคราวบ่อยๆ หรือเป็นสายจำหน่ายที่มีความสำคัญก็อาจพิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม

4.3 อาจจะพิจารณาติดตั้งรีโคลสเซอร์ที่สถานีไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันแทนเซอร์กิตเบรคเกอร์

4.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ต้องพิจารณาให้สะดวกในการเข้าไปปฏิบัติงานและบำรุงรักษา และค่ากระแสผิดพร่องซึ่งอาจจะเกิดขึ้น ณ จุดนี้ จะต้องมีค่าไม่มากกว่าพิกัดการตัดกระแสของรีโคลสเซอร์

5. ดรอพเอาท์ฟิวส์คัทเอาท์ (Dropout Fuse Cutout) เป็นอุปกรณ์ป้องกันอีกชนิดหนึ่ง

5.1 ติดตั้งในสายแยกที่มีระยะทางเกินกว่า 1 km. และในสายย่อยที่มีระยะทางเกินกว่า 5 km.

5.2 กรณีสายแยกที่มีระยะทางไม่เกิน 1 km. และสายย่อยที่มีระยะทางไม่เกิน 5 km. อาจจะติดตั้งดรอพเอาท์ฟิวส์ได้ถ้าพิจารณาเห็นว่าเหมาะสมเพียงพอเช่น มีต้นไม้อยู่ในแนวสายไฟฟ้ามาก

5.3 ในสายเมนไม่ควารติดตั้งดรอพเอาท์ฟิวส์ หรือถ้าจะติดตั้งก็ควรมีน้อยที่สุดโดยพิจารณาแล้วเห็นว่ามีความจำเป็น

5.4 ดรอพเอาท์ฟิวส์ที่ติดตั้งจะต้องทำงานสัมพันธ์กับเซอร์กิตเบรคเกอร์ รีโคลสเซอร์หรือดรอพเอาท์ฟิวส์ด้วยกัน

6. สวิตช์สำหรับตัดโหลด (Load Break Switch) และสวิตช์แบบน้ำมัน(Oil Switch)

6.1 ใช้ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนเข้าเมืองที่สำคัญ อาจติดตั้งทุกๆ 20 km. ก็ได้

6.2 ติดตั้งในสายเชื่อมโยงตำแหน่งที่จะมีการเชื่อมโยงระหว่างฟีดเดอร์หรือระหว่างสถานีไฟฟ้า

6.3 กรณีสายแยกใดที่มีโหลดมากและต้องติดตั้งสวิตช์ตัดตอนให้พิจารณาติดตั้งได้ตามความเหมาะสม

7. สวิตช์ตัดตอน (Disconnecting Switch)

7.1 ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนที่สถานีไฟฟ้าและก่อนเข้าสายเคเบิลแรงสูง

7.2 ติดตั้งเป็นสวิตช์ตัดตอนก่อนเข้าและออกจากรีโคลสเซอร์และโวลท์เตจเรคกูเลเตอร์

7.3 ติดตั้งเป็นสวิตช์บายพาสที่รีโคลสเซอร์

7.4 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกก่อนออกจากเมืองสำคัญ

8. สวิตช์แบบอากาศ (Air Switch)

8.1 ติดตั้งที่สถานีไฟฟ้าเพื่อเป็นสวิตช์สำหรับทำบายพาส

8.2 ติดตั้งในสายเมนหรือสายแยกแทนตำแหน่งของสวิตช์ตัดตอนเมื่อต้องการปิดหรือเปิดวงจรขณะที่มีโหลด

9. เสาไฟฟ้า คอนสายและลูกถ้วย (Pole,Crossarm and Insulator)

สำหรับการศึกษาความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นโดยทั่วๆไป จะพิจารณาอุปกรณ์ 2 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ สายไฟฟ้าและหม้อแปลง ทั้งนี้เนื่องจากในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ อาจจะพิจารณารวมอยู่ในอุปกรณ์ 2 ชนิดนี้ เช่น ลูกถ้วยสามารถพิจารณาร่วมกับสายไฟฟ้าได้ เป็นต้น แต่การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น ต้องพิจารณาผลที่เกิดจากการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ตัดตอนต่างๆ

2.2 สภาวะการทำงานและการล้มเหลวของอุปกรณ์

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งสถานะการทำงานที่สำคัญของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เช่น เซอร์กิตเบรคเกอร์ สายไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า ได้เป็น 3 ประเภท คือ การทำงานตามปกติ การล้มเหลวแบบเปิดวงจร (Open circuit) และการล้มเหลวแบบลัดวงจร (Closed circuit)

สำหรับการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั้งแบบปกติปิดและปกติเปิด ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่ซับซ้อนกว่าอุปกรณ์อื่นๆ นั้นพอที่จะกล่าวถึงตัวอย่างการทำงานได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ในกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบปกติปิด (Normally closed) ประกอบด้วยการทำงานในลักษณะต่างๆดังนี้

- ทำงานตามปกติในภาวะปิดวงจร
- เปิดวงจรด้วยความสำเร็จเมื่อควรจะเปิด
- ล้มเหลวที่จะเปิดวงจรเมื่อควรจะเปิด
- เปิดวงจรอย่างไม่ตั้งใจเมื่อไม่ควรจะเปิด
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการเปิดวงจรที่ตัวมันเอง
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านบัสบาร์
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านสายส่ง

ในกรณีของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบปกติเปิด (Normally open) ประกอบด้วยการทำงานในลักษณะต่างๆดังนี้

- ปิดวงจรสำเร็จเมื่อควรจะปิด
- ล้มเหลวที่จะปิดวงจรเมื่อควรจะปิด
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านบัสบาร์
- ล้มเหลวแล้วทำให้เกิดการลัดวงจรทางด้านสายส่ง

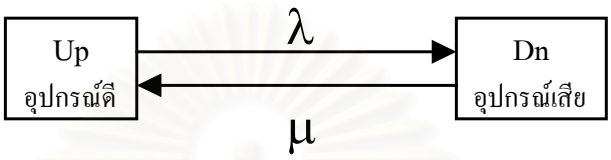
การทำงานในลักษณะต่างๆดังกล่าวเป็นเพียงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ชนิดหนึ่งซึ่งในความเป็นจริงแล้ว การที่ระบบทั้งระบบล้มเหลวนั้นสาเหตุดังกล่าวอาจเป็นเพียงสาเหตุทางอ้อมเท่านั้น

2.3 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์

ในทางปฏิบัติ อุปกรณ์แต่ละชนิดทำหน้าที่ต่างกัน แต่เมื่อต้องการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองสถานะ (state model) เพื่อจำลองพฤติ

กรรมการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิด สำหรับใช้พิจารณาถึงโอกาสที่จะเกิดขัดข้องของอุปกรณ์ชนิดนั้นๆ ขึ้นในระหว่างปฏิบัติงาน

โดยทั่วไปแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์จะเป็นแบบ 2 สถานะ คือ สถานะใช้งานได้ตามปกติ (Up)และ สถานะที่อุปกรณ์ใช้งานไม่ได้(Down) ดังนั้นแบบจำลองพื้นฐานก็คือแบบจำลอง 2 สถานะดังรูปที่ 2.1

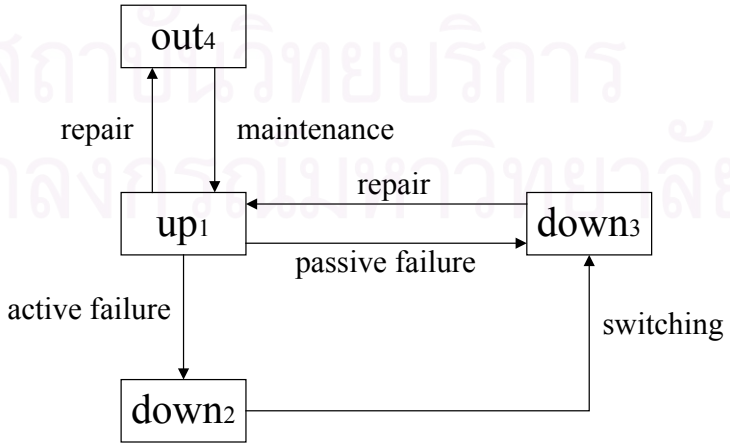


รูปที่ 2.1 แบบจำลอง 2 สถานะของอุปกรณ์

โดยที่ λ = อัตราการเสีย (Failure Rate)

μ = อัตราการซ่อม (Repair Rate)

แบบจำลอง 2 สถานะซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยอัตราการล้มเหลว (λ) และอัตราการซ่อมแซม (μ) กล่าวคือ ในการเปลี่ยนสถานะจากการทำงานปกติไปเป็นสถานะล้มเหลวจะเป็นไปตามอัตราการล้มเหลว และเปลี่ยนสถานะในทางกลับกันจะเป็นไปตามอัตราการซ่อมแซม แบบจำลองนี้มีข้อดีคือ ง่ายแก่การเข้าใจและการวิเคราะห์ แต่ไม่สามารถจำลองการทำงานที่ซับซ้อนได้ตามความจริงของบางอุปกรณ์ เช่น การตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบแอคทีฟและแบบพาสสีฟ เพื่อแสดงพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ได้ดียิ่งขึ้นดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลอง 4 สถานะ ดังรูปที่ 2.2

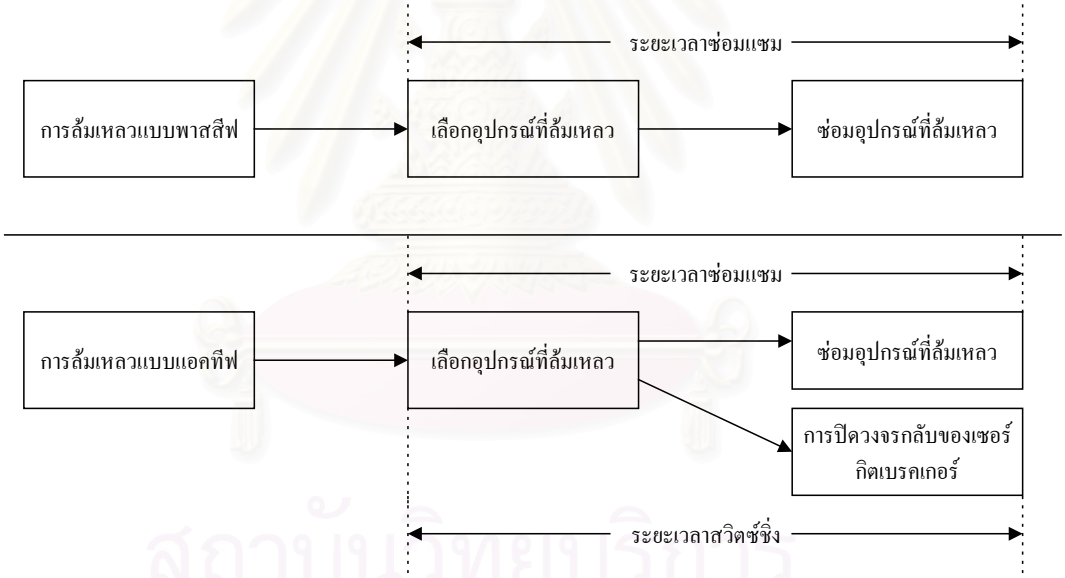


รูปที่ 2.2 แบบจำลอง 4 สถานะของอุปกรณ์

ความล้มเหลวแบบพาสสีฟ (Passive Failure) เป็นความล้มเหลวของอุปกรณ์ แต่ไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่เหลือ ซึ่งยังคงทำงานได้ตามปกติ อุปกรณ์ที่เกิดการล้มเหลวดังกล่าวสามารถทำให้ทำงานได้อีกโดยการซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ตัวที่เกิดความล้มเหลวนั้น

ความล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active Failure) เป็นความล้มเหลวของอุปกรณ์ที่เป็นเหตุให้เกิดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ในเขตการป้องกันปฐมภูมิ (Primary Protection Zone) ที่อยู่รอบๆอุปกรณ์ที่ล้มเหลวนั้น ในทางปฏิบัติหลังจากที่อุปกรณ์ป้องกันทำงานเพื่อจัดการกับเหตุการณ์ดังกล่าวได้เรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์และส่วนที่ผิดปกติออกไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ที่ล้มเหลวแบบแอคทีฟจะถูกแยกออกไปและเซอร์กิตเบรคเกอร์จะปิดวงจรกลับมาอีกครั้ง ทำให้การทำงานทั้งหมดหรือบางส่วนกลับคืนมา จะสังเกตได้ว่าอุปกรณ์ที่ล้มเหลวนั้นจะกลับมาใช้งานได้อีกครั้งจะต้องมีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนแปลงทดแทนด้วยเช่นกัน

ตามหลักการข้างต้นสามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างการล้มเหลวแบบแอคทีฟและการล้มเหลวแบบพาสซีฟได้ด้วยแผนภาพรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนผังการล้มเหลวแบบพาสสีฟและแบบแอคทีฟ

เมื่อระยะเวลาซ่อม (Repair time) เป็นระยะเวลาซ่อมอุปกรณ์ที่ล้มเหลวหรือระยะเวลาที่เกิดการล้มเหลว คือเป็นช่วงเวลานับตั้งแต่เกิดการล้มเหลวจนถึงเวลาเวลาที่อุปกรณ์กลัยมาใช้งานได้อีกครั้งโดยการซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ สำหรับระยะเวลาสวิตช์ชิ่ง (Switching time) เป็นระยะเวลาที่นับจากเริ่มเปิดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันหรือสวิตช์ตัดตอน เนื่องจากการขัดข้องจนกระทั่งทำการปิดวงจรกลับคืนได้สำเร็จ

จากแบบจำลอง 4 สถานะดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์อาจมีการล้มเหลวและการกลับคืนสู่การทำงานแบบต่างๆกัน หากพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองดังกล่าวกับการทำงานจริงของอุปกรณ์นั้นจะพบว่าโดยทั่วไปอุปกรณ์จะทำงานในสถานะปกติคือ สถานะที่ 1 แล้วต่อมาอาจล้มเหลงแบบแอคทีฟ เช่น เกิดการลัดวงจร อุปกรณ์ทำงานเข้าสู่สถานะที่ 2 จากนั้นเจ้าหน้าที่จะทำการสวิตชิ่งเพื่อนำอุปกรณ์ออกจากระบบซึ่งเปรียบเสมือนการเข้าสู่สถานะที่ 3 แล้วจึงทำการซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติในสถานะที่ 1 หรือบางกรณีจากการทำงานปกติในสถานะที่ 1 อุปกรณ์อาจเกิดการล้มเหลวแบบพาสซีฟ เช่น การเปิดวงจร ทำให้อุปกรณ์เข้าสู่สถานะที่ 3 หลังจากนั้นจึงซ่อมแซมทำให้เข้าสู่สถานะที่ 4 หลังจากซ่อมแซมเรียบร้อยแล้วจึงเข้าสู่สถานะที่ 1 ตามเดิม

อุปกรณ์ต่างๆในระบบจำหน่ายอาจไม่จำเป็นต้องมีสถานะการทำงานครบทั้ง 4 สถานะตามแบบจำลองข้างต้น หากแต่ขึ้นกับลักษณะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์นั้นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎีของฟัซซีเซต ตัวเลขฟัซซี

เนื้อหาในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงแนวคิดและทฤษฎีเบื้องต้นที่จำเป็นของฟัซซีเซต ตัวเลขฟัซซี เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนของการประเมินค่าความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อไป

3.1 แนวคิดและลักษณะเบื้องต้นของทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy Theory Concept) [2,3,4]

แนวคิดเกี่ยวกับทฤษฎีฟัซซีเซตได้ถูกเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในปี 1965 [2,3,4]โดย "Zadeh" ลักษณะที่สำคัญที่เป็นจุดเด่นของทฤษฎีฟัซซีเซต คือ ทฤษฎีฟัซซีเซตเป็นแนวทางในการอธิบายถึงความคลุมเครือ(Vagueness) ความไม่ชัดเจนของคำพูด คำอธิบายในเชิงภาษา(Linguistic) หรือความไม่ชัดเจนของข้อมูลให้ออกมาอยู่ในรูปของคณิตศาสตร์ได้

โดยการพิจารณาแนวคิดและหลักการพื้นฐานของทฤษฎีฟัซซีเซตจะพบว่า หลักการพื้นฐานที่แตกต่างกันระหว่างความเป็นฟัซซี(Fuzziness) และความน่าจะเป็น(Probability) คือ ความเป็นฟัซซีนั้นเกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่หาค่าได้หรือกำหนดได้(Deterministic plausibility) ความเป็นฟัซซีเป็นรูปลักษณ์หนึ่งของความไม่แน่นอน เป็นความคลุมเครือที่พบในคำจำกัดความของแนวคิดหรือความหมายของคำ พิจารณาตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับเรื่องไฟฟ้ากำลัง เช่น “โหลดในช่วงเย็นวันจันทร์มีค่าประมาณ 2500 MW” จะเห็นได้ว่าคำกล่าวนี้ ระบุว่าจะเกิดโหลดค่าๆหนึ่งในตอนเย็นวันจันทร์อย่างแน่นอน และสามารถระบุขอบเขตของค่าๆนั้นได้ คือ ประมาณ 2500 MW แต่ระบุค่าอย่างเจาะจงไม่ได้ ซึ่งคำว่า “ประมาณ” ที่ใช้ไม่ได้บ่งชี้ว่าจะต้องมีช่วงของค่ากว้างหรือแคบเพียงใด ในขณะที่ความน่าจะเป็นจะเกี่ยวข้องกับความน่าจะเกิดขึ้น(Likelihood) ของเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์หรือกำหนดได้(Non-deterministic) และเป็นแบบ Stochastic ความไม่แน่นอนตามแนวคิดของความ น่าจะเป็นนั้นจะเกี่ยวข้องกับการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ซึ่งมีลักษณะแบบสุ่ม(Randomness) พิจารณาตัวอย่างเช่น “เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีโอกาสเสีย ถ้าใช้งานติดต่อกันเกิน 4000 ชั่วโมง” จากคำกล่าวนี้ เหตุการณ์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเสียหรือไม่นั้นไม่สามารถทราบได้ และขึ้นกับสถานะในเวลาปัจจุบันที่พิจารณา บางทีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจจะเสียก่อนที่มีการใช้งานเป็นเวลาถึง 4000 ชั่วโมงก็ได้

จากตัวอย่างทั้งสองจะพบว่า การกล่าวถึงความไม่แน่นอนในลักษณะของโหลด เทียบกับความไม่แน่นอนในสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีความแตกต่างกัน

นอกจากนี้ความเป็นฟัซซี(Fuzziness) และความเป็นเชิงสุ่ม(Randomness) แตกต่างกันในการแสดงความไม่แน่นอน โดยความเป็นฟัซซีจะแสดงความไม่แน่นอนที่เกิดจากความแตกต่างทาง ความคิดหรือคำจำกัดความที่ขึ้นกับคนแต่ละคนจะคิด(Subjective) ส่วนความเป็นเชิงสุ่มจะแสดง ความไม่แน่นอนทางด้านภววิสัยหรือรูปธรรม(Objective) ซึ่งเป็นข้อมูลที่อ้างอิงถึงสถิติ(Statistic)

ความแตกต่างระหว่างความเป็นฟัซซีและความน่าจะเป็นนั้น หากพิจารณาจากการสร้างแบบจำลอง(Modeling) แล้วจะพบว่าแบบจำลองฟัซซีและแบบจำลองทางสถิติ(Statistical model) มีชนิดของข้อมูลที่แตกต่างกันในเชิงปรัชญา คือ แบบจำลองฟัซซี จะแสดงในรูปของค่าความเป็นสมาชิก(Membership) ที่แสดงถึงความคล้ายกันของวัตถุต่างๆที่ไม่สามารถระบุคุณสมบัติอย่างชัดแจ้ง โดยค่าความเป็นสมาชิกนั้นจะได้มาจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership function) ที่กำหนดขึ้น ส่วนแบบจำลองทางสถิติจะแสดงถึงการเกิดขึ้นของข้อมูลในเชิงความถี่สัมพัทธ์

สำหรับความแตกต่างระหว่างฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น(Probability density function: pdf) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership function) มีดังต่อไปนี้

- pdf แสดงถึงความน่าจะเกิดขึ้น(likelihood) ของ x ใดๆ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแสดงถึงความเป็นสมาชิกของ x ใดๆในเซต
- ค่ามากที่สุดของ pdf จะเป็นเลขจำนวนจริงบวกค่าหนึ่ง โดยทั่วไปมีค่าน้อยกว่า 1 ส่วนค่ามากที่สุดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกโดยทั่วไปจะเท่ากับ 1
- การอินทิเกรต(Integrate) ฟังก์ชัน pdf จะได้ค่าความน่าจะเป็นสะสม(Cumulative probability) ส่วนการอินทิเกรตฟังก์ชันความเป็นสมาชิกไม่มีนิยาม
- รอยตัดในแต่ละระดับตามแนวนอนของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(เรียกว่า α-cut) จะแสดงถึงความเป็นสมาชิกในเซตที่ระดับความเชื่อหนึ่งๆ ส่วนกรณีของ pdf นั้นไม่มีนิยาม

3.2 **ทฤษฎีฟัซซีเซต** (Fuzzy set theory) [2,3,4]

เซตตามความหมายดั้งเดิม(Classical crisp set) คือการจัดกลุ่มของวัตถุ(Object) ที่มีลักษณะเหมือนกันหรือสอดคล้องกันตามคำนิยามของเซตนั้นนำมาไว้รวมเป็นกลุ่มเดียวกัน การกำหนดนิยามของเซตจะเป็นไปในแนวทางเพื่อแยกกลุ่มวัตถุต่างๆในขอบเขตทั้งหมดที่เราสนใจหรือเอกภพสัมพัทธ์(Universe of discourse) ออกเป็นสองกลุ่ม คือเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิก

ลักษณะของขอบเขตในการแบ่งแยกการเป็นสมาชิกและไม่เป็นสมาชิกของเซตจะถูกกำหนดอย่างแน่นอน (Crisp) และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงทันที ณ ตรงเส้นแบ่งขอบเขตนั้น

เราสามารถนิยามเซตตามความหมายดั้งเดิม(Crisp set) โดยการกำหนดฟังก์ชันที่จะระบุถึงคุณสมบัติหรือลักษณะเฉพาะของเซตนั้น(Characteristic function) ถ้ากำหนดให้ U คือขอบเขตทั้งหมดที่เราสนใจหรือเอกภพสัมพัทธ์ ฟังก์ชันคุณสมบัติของเซต A(Crisp set) ใน U ($\mu_A(x)$) จะมีค่าเป็น 0 หรือ 1 นั่นคือ

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

(3.1)

สังเกตว่าตรงจุดขอบเขตของเซต A จะมีลักษณะคมและแบ่งแยกกลุ่มของ x ออกเป็นสองกลุ่มอย่างชัดเจน นั่นคือ $x \in A$ หรือ $x \notin A$

ฟัซซีเซต(Fuzzy set) จะมีลักษณะที่แตกต่างจากเซตดั้งเดิมตรงที่ได้ขยายหลักการพื้นฐานของเซตดั้งเดิมออกไป และแสดงออกในรูปที่เป็นรูปแบบทั่วไปยิ่งขึ้น(Generalization) โดยฟัซซีเซตจะแสดงลักษณะของความคลุมเครือ ไม่ชัดเจน โดยการกำจัดขอบเขตในการแบ่งความเป็นสมาชิกและ ไม่เป็นสมาชิกอย่างชัดเจนตามหลักการของเซตดั้งเดิมออกไป และกำหนดให้ค่าของความเป็นสมาชิกค่อยๆมีค่าเพิ่มขึ้นจากความไม่เป็นสมาชิกเลยไปถึงระดับที่มีความเป็นสมาชิกเต็มที่ หรือในทางตรงกันข้าม ค่าจะค่อยๆลดลงจากระดับที่มีความเป็นสมาชิกเต็มที่ไปจนถึงระดับที่ไม่มีความเป็นสมาชิกเลย

ฟัซซีเซต $\tilde{A}$ (ใช้สัญลักษณ์ ~ แสดงถึงฟัซซีเซต)ใน เอกภพสัมพัทธ์ U สามารถแสดงได้ในลักษณะของเซตของคู่อันดับ คือ

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

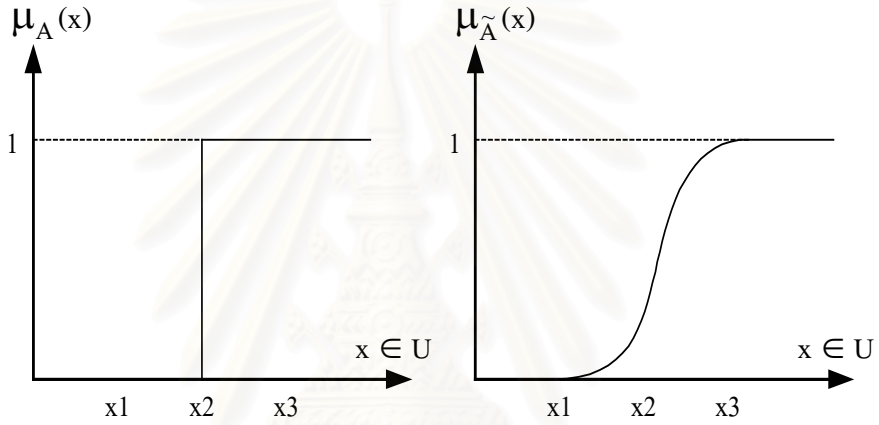
(3.2)

โดย $\mu_{\tilde{A}}(.)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership function) ของ $\tilde{A}$ และ $\mu_{\tilde{A}}(.)$ จะแสดงถึงระดับความเป็นสมาชิกของ x ใน $\tilde{A}$ อาจมองได้ว่า $\mu_{\tilde{A}}(.)$ แสดงถึงการจัดลำดับของวัตถุต่างๆใน $\tilde{A}$ โดยเรียงตามระดับของความเป็นสมาชิก ในกรณีที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- $\mu_{\tilde{A}}(.) : U \rightarrow M \mid M = \{ 0,1 \}$ โดย M คือ ค่าความเป็นสมาชิกที่เป็นไปได้(Membership space) กรณีนี้เซต $\tilde{A}$ จะไม่เป็นฟัซซีเซต แต่จะเป็นเซตดั้งเดิม (A)
- $\mu_{\tilde{A}}(.) : U \rightarrow M \mid M \subset \Re^{+}$, $\sup(M) = \infty$ เซต $\tilde{A}$ จะเป็นฟัซซีเซต ซึ่งโดยปกติทั่วไปจะกำหนดให้ M = [0 , 1]

รูปที่ 3.1(ก) แสดงฟังก์ชันคุณสมบัติของเซต(Crisp) A และรูปที่ 3.1(ข) แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต $\tilde{A}$ ตามลำดับ



(ก) (ข)

รูปที่ 3.1 การเปรียบเทียบระหว่างลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม(Crisp set) และฟัซซีเซต

ตัวอย่างที่ 3.1 กำหนดให้ U เป็นเอกภพสัมพัทธ์บนเส้นจำนวนจริง $\Re$ และเซต(Crisp) A เป็นเซตของ "จำนวนจริงที่มากกว่าหรือเท่ากับ 5" จะได้ว่า

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

โดยฟังก์ชันคุณสมบัติ(Characteristic function) สำหรับเซตนี้ คือ

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

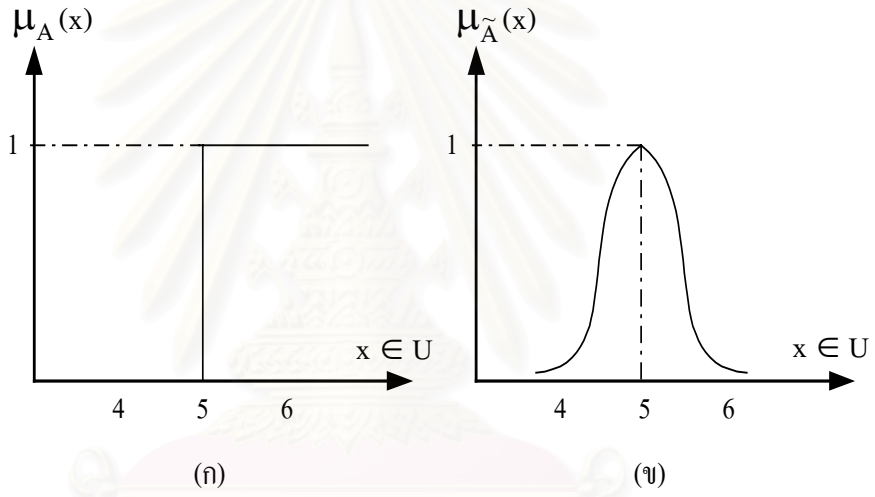
ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ก) ถ้าให้ฟัซซีเซต $\tilde{A}$ เป็นเซตของ "จำนวนจริงที่ใกล้เคียง 5" จะได้ว่า

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

โดยในกรณีนี้กำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership function) คือ

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

ดังแสดงในรูปที่ 3.2(ข) สังเกตว่าเราสามารถเลือกใช้หรือกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้กับ $\tilde{A}$ ได้หลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวผู้กำหนดเอง(Subjective) ว่าจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นแบบใด



รูปที่ 3.2 ลักษณะของเซตแบบดั้งเดิม(Crisp set) และฟัซซีเซตตามตัวอย่างที่ 1

ทั้งนี้การกำหนดลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนั้นจะขึ้นอยู่กับการพิจารณาว่าลักษณะของฟังก์ชันใดที่จะเหมาะสมที่สุด ที่จะนำมาใช้อธิบายและจัดลำดับองค์ประกอบหรือวัตถุต่างๆ (x) ใน $\tilde{A}$ เพื่อให้สอดคล้องกับคำนิยามของเซต $\tilde{A}$ นั้น

3.2.1 **การนำเสนอของฟัซซีเซต** (Representation of fuzzy set)

กำหนดให้ “Support ของฟัซซีเซต” คือเซต(Crisp set) ของ x ทุกตัวที่เป็นสมาชิกในเอกภพสัมพัทธ์ U โดยที่ $\mu(x) > 0$ ดังแสดงได้ตามสมการที่ 3.3 คือ

$$\text{supp}(\tilde{A}) = \left\{ x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(.) > 0 \right\} \quad (3.3)$$

ฟัซซีเซตที่เป็นเซตว่าง(Empty fuzzy set) จะมี $\text{supp}(\tilde{A})$ ที่เป็นเซตว่างด้วย นั่นคือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะมีค่าเป็นศูนย์สำหรับทุกๆ x ใน U ในกรณีทั่วไปถ้ากำหนดให้เอกภพสัมพัทธ์ $U = \left\{ x_1, x_2, \ldots, x_n \right\}$ คือ U มีค่าไม่ต่อเนื่อง(Discrete) เราสามารถแสดง $\tilde{A}$ ในรูปของคู่อันดับ ดังนี้

$$\tilde{A} = \left\{ (x_1, \mu_{\tilde{A}}(x_1)), (x_2, \mu_{\tilde{A}}(x_2)), \mathrm{K}, (x_n, \mu_{\tilde{A}}(x_n)) \right\}$$

(3.4)

การนำเสนอของฟัซซีเซตสามารถแสดงได้ในรูปของ “Support ของฟัซซีเซต” ดังนี้ โดยนิยามของ “Support ของฟัซซีเซต” เราสามารถแสดง $\tilde{A}$ ได้ในรูปที่ง่ายขึ้น คือ

$$\tilde{A} = \frac{\mu 1}{x1} + \frac{\mu 2}{x2} + \frac{\mu 3}{x3} + \mathrm{K} + \frac{\mu_n}{x_n} = \sum_i \left(\frac{\mu_i}{x_i} \right)$$

(3.5)

โดยสัญลักษณ์ + แสดงถึงการ Union และ $\mu_i = \mu_{\tilde{A}}(x_i) > 0$ นั่นคือเราสนใจเฉพาะค่า x_i $(x_i \in U)$ ซึ่งมีค่าความเป็นสมาชิกมากกว่าศูนย์ เครื่องหมาย $-$ ระหว่าง μ_i และ x_i จะแสดงถึงการแบ่งแยกระหว่าง μ_i และ x_i ที่สอดคล้องกันซึ่งไม่ใช่การหาร ในกรณีที่ U มีค่าต่อเนื่อง(Continuous) จะเขียนได้ว่า

$$\tilde{A} = \int_U \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x}$$

(3.6)

โดยเครื่องหมาย $\int$ แสดงถึงการ Union ขององค์ประกอบต่างๆใน $\tilde{A}$ ซึ่งเป็นค่าที่ต่อเนื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 α - Cut หรือ α- Level ของฟัซซีเซต

α - cut หรือ α- level set ของฟัซซีเซต $\tilde{A}$ คือ เซต A(Crisp set) ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบทุกตัวในเอกภพสัมพัทธ์ U ที่มีค่าความเป็นสมาชิกใน $\tilde{A}$ มากกว่าหรือเท่ากับ α คือ

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

(3.7)

นอกจากนี้เซตของทุกระดับ $\alpha \in (0,1]$ ที่แสดง α - cut ที่แตกต่างกันของฟัซซีเซต $\tilde{A}$ จะเรียกว่า Level set ของ $\tilde{A}$ นั่นคือ

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

(3.8)

จากสมการที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าถ้า $\alpha \leq \beta$ แล้ว $A_\beta \subseteq A_\alpha$

3.2.3 คุณสมบัติความเป็น Convex (Convexity)

ฟัซซีเซตจะมีคุณสมบัติ Convex ก็ต่อเมื่อแต่ละ α-cut ของฟัซซีเซตเป็นเซตที่ Convex กล่าวคือ

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda X_1 + (1-\lambda)X_2) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(X_1) , \mu_{\tilde{A}}(X_2))$$

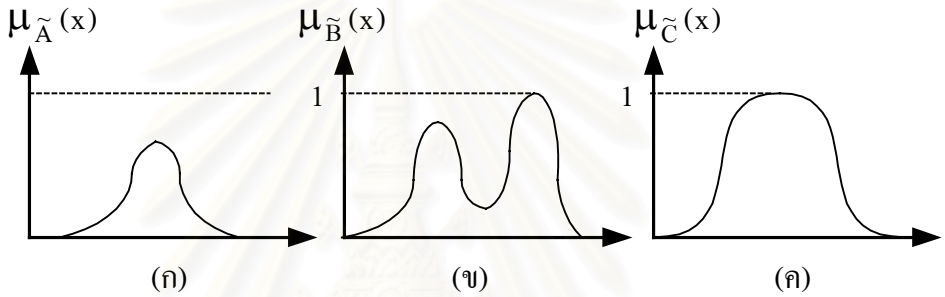
(3.9)

โดย $x_1 , x_2 \in U , \lambda \in (0,1]$ จากสมการที่ 3.9 กล่าวได้ว่า เมื่อเราพิจารณาจุด 2 จุดใดๆ คือ x_1 , x_2 ในฟัซซีเซต $\tilde{A}$ และลากเส้นตรงเชื่อมจุด 2 จุดนั้นแล้ว ค่าความเป็นสมาชิกของทุกๆจุด (x) บนเส้นตรงจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าความเป็นสมาชิกของ x_1 หรือ x_2 แล้วแต่ว่าค่าใดต่ำกว่ากันนอกจากนี้ พิจารณานิยามของความสูงของฟัซซีเซตดังนี้ นิยามความสูงของฟัซซีเซต(Height of fuzzy set) คือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{Height}(\tilde{A}) \equiv \sup_{x} \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (3.10)$$

จากนิยามความสูงของฟัซซีเซตตามสมการที่ 3.10 กล่าวได้ว่า ฟัซซีเซตที่ถูก Normalize แล้ว จะมีค่า $\text{Height}(\tilde{A}) = 1$ รูปที่ 3.3(ก) แสดงตัวอย่างของฟัซซีเซตที่ Convex แต่ไม่ Normalized รูปที่ 3.3(ข) แสดงตัวอย่างของฟัซซีเซตที่ Normalized แต่ไม่ Convex และ รูปที่ 3.3(ค) แสดงตัวอย่างของฟัซซีเซตที่ Convex และ Normalized ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 ลักษณะของความเป็น Convex ของฟัซซีเซต และลักษณะฟัซซีเซตที่ Normalized

3.2.4 หลักการ Extension (Extension Principle)

หลักการ Extension นำเสนอครั้งแรกโดย Zadeh[1978a] ซึ่งเป็นหลักการหนึ่งที่สำคัญมากในทฤษฎีของฟัซซีเซต หลักการนี้ช่วยในการเชื่อมโยงระหว่างแนวคิดทางคณิตศาสตร์แบบดั้งเดิม(Crisp mathematical concepts) กับการคิดคำนวณบนพื้นฐานของฟัซซีเซต โดยนำเสนอแนวทางในการเชื่อมโยงค่า(Mapping) จากฟังก์ชัน f ใดๆ คือ f : (x_1 , x_2 , . . . x_n) ในเซต(Crisp) U ไปสู่จุดๆหนึ่งในเซต(Crisp) V ให้เป็นกรณีทั่วไป คือ เป็นการเชื่อมโยงค่า จาก n ฟัซซีสับเซต(Fuzzy subset) ใน U ไปสู่ ฟัซซีสับเซตใน V ดังนั้นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ใดๆ ระหว่าง องค์ประกอบที่ไม่ใช่ฟัซซี(Nonfuzzy elements) จะสามารถขยายไปสู่การจัดการกับองค์ประกอบที่เป็นฟัซซีได้

กำหนดให้ฟังก์ชัน $f: U \rightarrow V$ และฟัซซีเซต $\tilde{A}$ อยู่ใน U โดยอาศัยสมการที่ 3.5 หลักการ Extension กล่าวว่า

$$f(\tilde{A}) = f\left(\frac{\mu_1}{x_1} + \frac{\mu_2}{x_2} + \frac{\mu_3}{x_3} + K + \frac{\mu_n}{x_n}\right)$$
$$= \frac{\mu_1}{f(x_1)} + \frac{\mu_2}{f(x_2)} + \frac{\mu_3}{f(x_3)} + K + \frac{\mu_n}{f(x_n)}$$

(3.11)

ถ้ามีค่า x มากกว่าหนึ่งค่าใน U ที่ถูกเชื่อมโยงไปยังค่า y เดียวกันใน V โดย f (many-to-one mapping) จะได้ว่า

$$\mu_{f(\tilde{A})}(y) = \max_{\substack{x_i \in U \\ f(x_i)=y}} \left(\mu_{\tilde{A}}(x_i)\right)$$

(3.12)

โดย x_i คือค่าที่ถูกเชื่อมโยงไปสู่ค่า y เดียวกัน ให้ U คือ ผลคูณคาร์ทีเซียน(Cartesian Product) ของเอกภพสัมพัทธ์ $U = U1 \times U2 \times K \times Un$ และ $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, K, \tilde{A}_n$ เป็น n ฟัซซีเซตใน U1 , U2 , . . . , Un ตามลำดับ ฟังก์ชัน f เชื่อมโยงค่า $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ ในเซต(crisp) U ไปสู่จุด y จุดหนึ่งในเซต(Crisp) V นั่นคือ $y = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ จากหลักการ Extension ฟังก์ชัน $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ จะถูกขยายไปกระทำบน n ฟัซซีสับเซตของ U : $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, K, \tilde{A}_n$ คือ $\tilde{B} = f(\tilde{A})$ โดย $\tilde{B}$ คือ ภาพฉายฟัซซี (Fuzzy image) ซึ่งเป็นฟัซซีเซตของ $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, K, \tilde{A}_n$ ผ่าน f (.) โดยฟัซซีเซต $\tilde{B}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$\tilde{B} = \left\{(y, \mu_{\tilde{B}}(y)) \mid y = f(x_1, x_2, K, x_n), (x_1, x_2, K, x_n) \in U\right\}$$

(3.13)

โดยที่

$$\mu_{\tilde{B}}(y) = \sup_{\substack{(x_1, x_2, K, x_n) \in U \\ y = f(x_1, x_2, K, x_n)}} \min[\mu_{\tilde{A}_1}(x_1), \mu_{\tilde{A}_2}(x_2), K, \mu_{\tilde{A}_n}(x_n)]$$

(3.14)

ตัวอย่างที่ 3.2 กำหนดให้ f เป็นฟังก์ชันที่เชื่อมโยงค่าจาก $U_1 = \{-1,0,1\}$ และ $U_2 = \{-2,2\}$ ไปยัง $V = \{-2,-1,2,3\}$ โดย $f(x_1,x_2) = x_1^2 + x_2$ ให้ $\tilde{A}_1$ และ $\tilde{A}_2$ คือ ฟัซซีเซตที่นิยามบน U_1 และ U_2 ตามลำดับ ที่ซึ่ง $\tilde{A}_1 = (0.5/-1)+(0.1/0)+(0.9/1)$ และ $\tilde{A}_2 = (0.4/-2)+(0.1/2)$ โดยการใช้หลักการ Extension จะได้ $f(\tilde{A}_1,\tilde{A}_2)$ ตามขั้นตอนการคำนวณดังตารางต่อไปนี้

X_1	μ_{A_1}	X_2	μ_{A_2}	$\mu_{A_1 \times A_2}(x_1,x_2)$
$y = f(x_1,x_2) = x_1^2 + x_2$				
-1	0.5	-2	0.4	min(0.5,0.4)	-1
-1	0.5	2	1.0	min(0.5,1.0)	3
0	0.1	-2	0.4	min(0.1,0.4)	-2
0	0.1	2	1.0	min(0.1,1.0)	2
1	0.9	-2	0.4	min(0.9,0.4)	-1
1	0.9	2	1.0	min(0.9,1.0)	3

จากตารางจะเห็นว่าคู่ลำดับ (-1,-2) และ (1,-2) และคู่ลำดับ (-1,2) และ (1,2) ถูกเชื่อมโยงไปยังจุดเดียวกันคือจุด y = -1 และ y = 3 ตามลำดับ จากสมการที่ 3.14 จะได้ว่า

$$\mu_B(y=-1) = \sup[\min(\mu_{A_1}(x_1=-1), \mu_{A_2}(x_2=-2)), \min(\mu_{A_1}(x_1=1), \mu_{A_2}(x_2=-2))]$$
$$= \sup[\min(0.5, 0.4), \min(0.9, 0.4)] = 0.4$$

$$\mu_B(y=-2) = \sup[\min(\mu_{A_1}(x_1=0), \mu_{A_2}(x_2=-2))]$$
$$= \sup[\min(0.1, 0.4)] = 0.1$$

$$\mu_B(y=2) = \sup[\min(\mu_{A_1}(x_1=0), \mu_{A_2}(x_2=2))]$$
$$= \sup[\min(0.1, 1)] = 0.1$$

$$\mu_B(y=3) = \sup[\min(\mu_{A_1}(x_1=-1), \mu_{A_2}(x_2=2)), \min(\mu_{A_1}(x_1=1), \mu_{A_2}(x_2=2))]$$
$$= \sup[\min(0.5, 1), \min(0.9, 1)] = 0.9$$

ดังนั้น ผลลัพธ์สุดท้าย (ฟัซซีเซต $\tilde{B}$) ที่ได้จากการใช้หลักการ Extension ตามสมการที่ 3.13 และ 3.14 คือ

$$\tilde{B} = (0.1/-2) + (0.4/-1) + (0.1/2) + (0.9/3)$$

3.2.5 พีชคณิตบนช่วง (Interval Arithmetic)

ส่วนใหญ่งานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมจะเกี่ยวข้องกับค่าที่ไม่แน่นอนหรือข้อมูลที่ไม่เที่ยงตรงจากเครื่องมือวัด ซึ่งค่าเหล่านี้มักจะถูกระบุในลักษณะเป็นช่วงของค่า(Interval) เราจึงใช้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์(Mathematical operation) ในการกระทำบนช่วงเหล่านี้เพื่อที่จะได้ค่าประมาณของการวัดที่เชื่อถือได้ซึ่งอยู่ในรูปของช่วง ดังนั้นการวิเคราะห์ช่วงของค่า(Interval analysis) หรือ พีชคณิตบนช่วง(Interval arithmetic) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณชนิดนี้

พิจารณาค่าหรือข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ที่มีค่าไม่แน่นอน เราสามารถระบุตำแหน่งค่าที่ไม่แน่นอนนี้บนเส้นจำนวนจริงได้ภายในช่วงปิด(Closed interval) ช่วงหนึ่ง นั่นคือค่าที่ ไม่แน่นอนจะอยู่ภายในช่วงของความเชื่อมั่นหนึ่ง(Interval of confidence) ของ $\Re$, $x \in [a1, a2]$ โดย $a1 \leq a2$ การกระทำเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าเราแน่ใจว่าค่า x นั้นมากกว่าหรือเท่ากับ a1 และ น้อยกว่าหรือเท่ากับ a2 หรือกล่าวได้ว่าเราจำกัดความไม่แน่นอนของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่ถูกกำหนดโดย ขอบบนและขอบล่าง (a2 และ a1)

กำหนดให้สัญลักษณ์ A = [a1 , a2] ในการแสดงถึงช่วงของค่าช่วงหนึ่ง และถ้าค่าที่ไม่แน่นอน(x) อยู่ภายในช่วงปิดนี้ จะเขียนได้ว่า

$$A = [a1, a2] = \{\ x \mid a1 \leq x \leq a2\ \} \quad (3.15)$$

โดยทั่วไปตัวเลข a1 และ a2 จะมีค่าจำกัด(finite) ในกรณีที่ค่า x เป็นค่าที่แน่นอนใน $\Re$ เราก็ยังสามารถแสดงได้ในรูปของช่วงคือ x = [x , x] การดำเนินการทางคณิตศาสตร์บนช่วงของความ เชื่อมั่นได้แก่ การบวก(+) การลบ(-) การคูณ(*) การหาร(:) การหาค่ามากที่สุด($\vee$) และการหาค่าน้อยที่สุด($\wedge$) สามารถแสดงได้ดังนี้

- การบวก(+) และ การลบ(-) : ให้ A = [a1 , a2] และ B = [b1 , b2] เป็นช่วงความเชื่อมั่นใน $\Re$ ถ้า $x \in [a1, a2]$ และ $y \in [b1, b2]$ แล้ว $x + y \in [a1 + b1, a2 + b2]$ นั่นคือ

$$A\ (+)\ B = [\ a1\ ,\ a2\ ]\ (+)\ [\ b1\ ,\ b2\ ] = [\ a1+b1\ ,\ a2+b2\ ] \quad (3.16)$$

และสำหรับการลบจะได้

$$A\ (-)\ B = [\ a1\ ,\ a2\ ]\ (-)\ [\ b1\ ,\ b2\ ] = [\ a1-b2\ ,\ a2-b1\ ] \quad (3.17)$$

- ภาพของ A (Image: $\overline{A}$): ถ้า $x \in [a1, a2]$ แล้วภาพของ A : $\overline{A}$ = [-a2 , -a1] และสังเกตว่า

$$A\ (+)\overline{A} = [a1\ ,\ a2]\ (+)\ [-a2\ ,\ -a1] = [\ a1 - a2\ ,\ a2 - a1\ ] \neq 0 \quad (3.18)$$

- การคูณ (.) และ การหาร (:): ให้ A = [a1 , a2] และ B = [b1 , b2] เป็นช่วงความเชื่อมั่นใน $\Re$ จะได้

$$A\ (.)\ B = [\ \min(\ a1b1\ ,\ a1b2\ ,\ a2b1\ ,\ a2b2\ )\ ,\ \max(\ a1b1\ ,\ a1b2\ ,\ a2b1\ ,\ a2b2\ )\ ] \quad (3.19)$$

ในกรณีถ้า $A, B \subset \Re^{+}$ จะแสดงได้ตามสมการที่ 3.20 คือ

$$A\ (.)\ B = [a1\ ,\ a2]\ (.)\ [b1\ ,\ b2] = [\ a1b1\ ,\ a2b2\ ] \quad (3.20)$$

สำหรับการหารในกรณีที่ $A, B \subset \Re$ และ $0 \notin B$ จะได้ว่า

$$A\ (:)\ B = [\ \min(\ a1/b1\ ,\ a1/b2\ ,\ a2/b1\ ,\ a2/b2)\ ,\ \max(\ a1/b1\ ,\ a1/b2\ ,\ a2/b1\ ,\ a2/b2)\ ] \quad (3.21)$$

ในกรณีถ้า $A, B \subset \Re^{+}$ และ $0 \notin B$ จะได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$A\ (:)\ B = [a1, a2]\ (:)\ [b1, b2] = [a1/b2, a2/b1] \quad (3.22)$$

- อินเวอร์สของ A(Inverse : A^{-1}) : ถ้า $x \in [a1, a2] \subset \Re^{+}$, $0 \notin [a1, a2]$ จะได้ อินเวอร์สคือ $A^{-1} = [1/a2, 1/a1]$ สังเกตว่าในกรณีนี้

$$A\ (.)\ A^{-1} = [a1/a2, a2/a1] \neq 0 \quad (3.23)$$

- Max ($\vee$) และ Min ($\wedge$) : พิจารณาช่วงของความเชื่อมั่น $A, B \subset \Re$ จะได้ว่า

$$A\ (\vee)\ B = [a1 \vee b1, a2 \vee b2] \quad (3.24)$$

$$A\ (\wedge)\ B = [a1 \wedge b1, a2 \wedge b2] \quad (3.25)$$

คุณสมบัติทางพีชคณิตของการดำเนินการบนช่วงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1 สังเกตว่าการลบและการหารไม่มีคุณสมบัติการสลับที่ (Commutativity) และการเปลี่ยนกลุ่ม(Associativity)

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางพีชคณิตของการดำเนินการบนช่วง

คุณสมบัติ	การบวก (+)	การคูณ (.)
การสลับที่	A (+) B = B (+) A	A (.) B = B (.) A
การเปลี่ยนกลุ่ม	(A (+) B) (+) C = A (+) (B (+) C)	(A (.) B) (.) C = A (.) (B (.) C)
เอกลักษณ์	A (+) 0 = 0 (+) A = A	A (.) 1 = 1 (.) A = A
ภาพและอินเวอร์ส	A (+) $\overline{A}$ = $\overline{A}$ (+) A ≠ 0	A (.) A^{-1} = A^{-1} (.) A ≠ 1
	สำหรับ $\forall_{A,B,C \subset \Re}$	สำหรับ $\forall_{A,B,C \subset \Re^{+}}$

ตัวอย่างที่ 3.3 พิจารณาช่วงของจำนวนจริงที่กำหนดขึ้นดังนี้ A = [1.23 , 4.56] , B = [2.45,6.26], C = [-3.12 , 5.64] , D = [-4.02 , -1.27] , E = [2 , 4] , F = [-4 , 6] และ G = [-6 , -2] จะได้ว่า

A (+) B = [1.23 , 4.56] (+) [2.45 , 6.26] = [1.23+2.45 , 4.56 + 6.26] = [3.68 , 10.82]

A (-) C = [1.23 , 4.56] (-) [-3.12 , 5.64] = [1.23 - 5.64 , 4.56 + 3.12] = [-4.41 , 7.68]

$\overline{C}$ = [-5.64 , 3.12]

C (+) $\overline{C}$ = [-3.12 , 5.64] (+) [5.64 , -3.12] = [-8.76 , 8.76] $\neq 0$

(A (+) B) (-) C = [3.68 , 10.82] (-) [-3.12 , 5.64] = [-1.96 , 13.94]

A (.) B = [1.23 , 4.56] (.) [2.45 , 6.26] = [3.0135 , 28.5456]

A (:) B = [1.23 , 4.56] (:) [2.45 , 6.26] = [1.23 / 6.26 , 4.56 / 2.45]

= [0.1965 , 1.8612]

A^{-1} = [1 / 4.56 , 1 / 1.23] = [0.2193 , 0.8130]

A (.) A^{-1} = [1.23 , 4.56] (.) [0.2193 , 0.8130] = [0.2697 , 3.7073] $\neq 1$

E($\wedge$)F = [2 , 4] ($\wedge$) [-4 , 6] = [2 $\wedge$ -4 , 4 $\wedge$ 6] = [-4 , 4]

E($\vee$)F = [2$\vee$ -4 , 4$\vee$ 6] = [2 , 6]

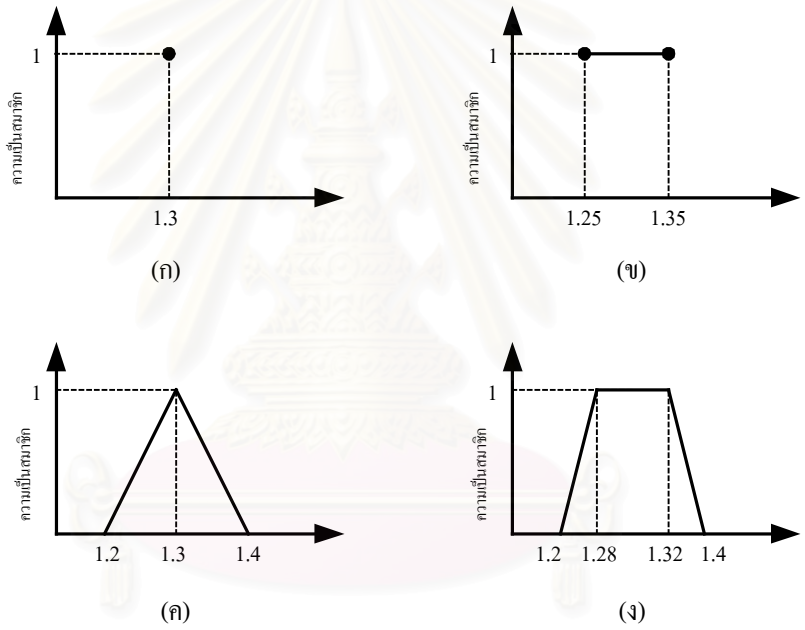
3.2.6 ตัวเลขฟัซซี (Fuzzy Number)

ตัวเลขฟัซซีคือ ฟัซซีเซตที่ Convex และ Normalized และถูกนิยามบนเส้นจำนวนจริง $\Re$ ซึ่งมีลักษณะฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership function) ที่ต่อเนื่องเชิงท่อน(Piecewise continuous) หรือแต่ละ α-cut เป็นช่วงปิด(Closed interval) $\mu_{\tilde{A}}(.) : \Re \rightarrow [0,1]$

จากคำนิยามของตัวเลขฟัซซี จะพบว่าตัวเลขฟัซซีจะแสดงถึง " ตัวเลข " จากแนวคิดของการประมาณตัวเลขนั้นๆโดยอาศัยลักษณะการแสดงในเชิงคณิตศาสตร์ในรูปของช่วง(Interval) ตัวเลขฟัซซีจะแสดงค่าของข้อความที่แสดงความไม่แน่นอนของตัวเลข เช่น " มีค่าประมาณ 5 " หรือ " มีค่าใกล้เคียงกับ 3.4 " โดยอาศัยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในการระบุค่าความเป็นสมาชิกให้กับตัวเลขใดๆบนเส้นจำนวนจริงว่ามีคุณสมบัติสอดคล้องหรือใกล้เคียงกับคำนิยามของข้อความนั้นๆมากหรือน้อยเพียงใด ตัวเลขฟัซซีที่เป็นบวก คือตัวเลขฟัซซีที่ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเท่ากับศูนย์

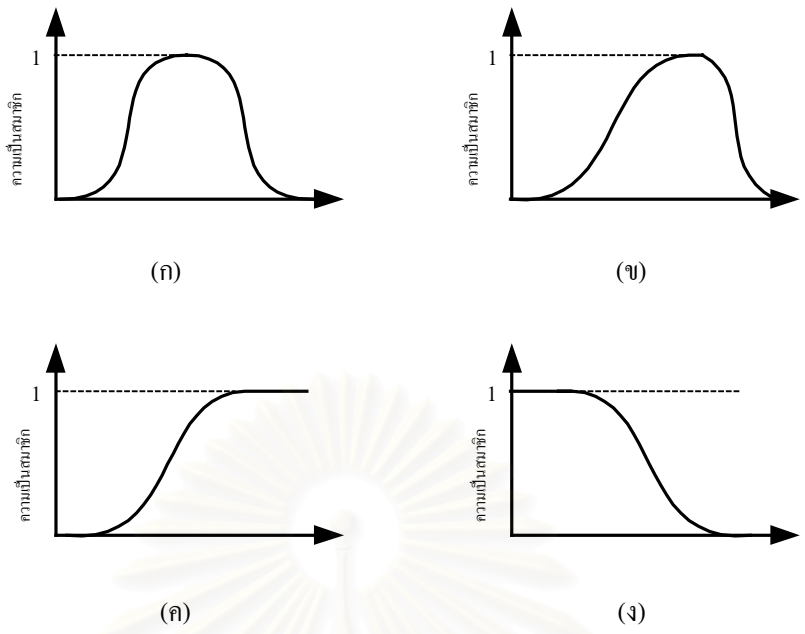
สำหรับทุกค่าของตัวแปรอิสระ x ที่เป็นลบ นั่นคือ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0 , \forall x < 0$ ในทางตรงกันข้าม ตัวเลขฟัซซีที่เป็นลบมีลักษณะคือ $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0 , \forall x > 0$

นอกจากนี้ ตัวเลขธรรมดาหรือช่วงของตัวเลขจำนวนจริงสามารถถูกพิจารณาได้ว่าเป็นกรณีพิเศษของตัวเลขฟัซซี รูปที่ 3.4(ก) แสดงตัวเลขปกติที่มีค่า 1.3 รูปที่ 3.4(ข) แสดงช่วงของจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 1.25 ถึง 1.35 คือ [1.25 , 1.35] รูปที่ 3.4(ค) แสดงตัวเลขฟัซซีรูปสามเหลี่ยม(Triangular fuzzy number) ที่แสดงถึงข้อความที่ว่า "มีค่าประมาณ 1.3" และรูปที่ 3.4(ง) แสดงตัวเลขฟัซซีรูปสี่เหลี่ยมคางหมู(Trapezoidal fuzzy number) ที่แสดงถึงข้อความที่ว่า "มีค่าอยู่ในช่วง 1.28 ถึง 1.32 และไม่เกิน 1.2 และ 1.4" ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ

ตัวเลขฟัซซีรูปสามเหลี่ยม และตัวเลขฟัซซีรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งก็คือตัวเลขฟัซซีที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยมคางหมูตามลำดับ จะเป็นตัวเลขฟัซซีที่นิยมใช้กันมากที่สุด นอกจากนี้ก็ยังมีตัวเลขฟัซซีรูปแบบอื่นๆที่ใช้กันในบางกรณี เช่น ตัวเลขฟัซซีที่เป็นรูประฆัง (Bell-shaped) ซึ่งมีทั้งแบบสมมาตร และไม่สมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5(ก) และ (ข) ตัวเลขฟัซซีที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่เพิ่มขึ้นอย่างเดียว หรือลดลงอย่างเดียว ซึ่งสื่อถึงข้อความที่ว่า "ตัวเลขค่ามาก" (Large number) และ "ตัวเลขค่าน้อย" (Small number) ดังแสดงในรูปที่ 3.5(ค) และ (ง)



รูปที่ 3.5 ตัวเลขฟัซซีแบบต่างๆ (ต่อ)

3.2.7 **พีชคณิตฟัซซี** (Fuzzy Arithmetic)

เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเลขฟัซซี คือ Normal และ Convex บนเส้นจำนวนจริงซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ต่อเนื่องเชิงท่อน(Piecewise continuous) นั่นคือทุกๆ α-cut (A_α) ของตัวเลขฟัซซี $\tilde{A}$ เป็นช่วงปิดบน $\Re$ และค่าสูงที่สุดของ $\mu_{\tilde{A}}(.)$ มีค่าเป็น 1 ดังนั้นถ้ากำหนดตัวเลขฟัซซี $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ ใน $\Re$ สำหรับค่า α ค่าหนึ่ง : $\alpha_1 \in [0\ ,\ 1]$ เราจะได้ช่วงปิดสองช่วง คือ $A_{\alpha_1} \equiv [a1^{(\alpha_1)}, a2^{(\alpha_1)}]$ จากตัวเลขฟัซซี $\tilde{A}$ และ $B_{\alpha_1} \equiv [b1^{(\alpha_1)}, b2^{(\alpha_1)}]$ จากตัวเลขฟัซซี $\tilde{B}$ ซึ่งเราสามารถใช้หลักการของพีชคณิตบนช่วงมาประยุกต์ใช้ได้

ดังนั้นเราสามารถมองว่าตัวเลขฟัซซีเป็นการขยายแนวความคิดของช่วงตัวเลข(Interval) คือแทนที่จะพิจารณาช่วงตัวเลขเพียงแค่ระดับเดียว ตัวเลขฟัซซีจะพิจารณาช่วงของตัวเลข ณ หลายๆระดับ ซึ่งแต่ละช่วงเหล่านี้จะสอดคล้องกับแต่ละ α-cut ของตัวเลขฟัซซี เพื่อแสดงว่าเรากำลังพิจารณาการดำเนินการทางพีชคณิต(Arithmetic operation) บนทุกระดับช่วงปิดของตัวเลขฟัซซี เราจะใช้สัญลักษณ์ $A_\alpha \equiv [a1^{(\alpha)}, a2^{(\alpha)}]$ เพื่อแสดงช่วงปิดของตัวเลขฟัซซี $\tilde{A}$ ที่ทุกๆ ระดับ α ($\alpha \in [0,1]$)

กำหนดให้ (*) หมายถึง การดำเนินการบนตัวเลขฟัซซี เช่น การบวก(+) การลบ(-) การคูณ (.) และการหาร (:) โดยใช้หลักการ Extension ผลลัพธ์ $\tilde{A}$ (*) $\tilde{B}$ โดย $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ คือตัวเลขฟัซซีจะได้ว่า

$$\mu_{\tilde{A}(*)\tilde{B}}(z) = \sup_{z = x*y} \min\left(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(y) \right)$$

(3.26)

กรณีที่ $x, y \in \Re$ สำหรับ $\min(\wedge)$ และ $\max(\vee)$ จะได้ว่า

$$\mu_{\tilde{A}(*)\tilde{B}}(z) = \sup_{z = x*y} \left(\mu_{\tilde{A}}(x) * \mu_{\tilde{B}}(y) \right)$$

(3.27)

ใช้หลักการของ α-Cut กับสมการที่ 3.26 และ 3.27 จะได้ผลลัพธ์ตามสมการที่ 3.28 คือ

$$(A(*)B)_\alpha = A_\alpha (*) B_\alpha : \forall \alpha \in [0,1]$$

(3.28)

สังเกตว่าสำหรับ $\alpha_1, \alpha_2 \in [0,1]$ ถ้า $\alpha_1 > \alpha_2$ ดังนั้น $A_{\alpha_1} \subset A_{\alpha_2}$ ฝั่งขวามือของสมการที่ 3.28 แสดงถึงการดำเนินการเชิงช่วงกับทุกๆ α-cut ของ $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$A_\alpha (+) B_\alpha = [a_1^\alpha + b_1^\alpha, a_2^\alpha + b_2^\alpha]$$

(3.29)

$$A_\alpha (-) B_\alpha = [a_1^\alpha - b_2^\alpha, a_2^\alpha - b_1^\alpha]$$

(3.30)

$$A_\alpha (\cdot) B_\alpha = [\min(a_i^\alpha \cdot b_j^\alpha), \max(a_i^\alpha \cdot b_j^\alpha)]$$

(3.31)

$$A_\alpha (/) B_\alpha = [\min(a_i^\alpha / b_j^\alpha), \max(a_i^\alpha / b_j^\alpha)] \; ; 0 \notin B_\alpha$$

(3.32)

โดยในสมการที่ 3.31 และ 3.32 i , j มีค่าเท่ากับ 1 และ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากที่กล่าวมาข้างต้น เราสามารถสรุปคุณสมบัติของการดำเนินการ(Operation) บนตัวเลข ฟัซซี และ คุณสมบัติการบวกและการคูณเชิงพีชคณิตบนตัวเลขฟัซซี ได้ดังนี้

1. ถ้า $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ เป็นตัวเลขฟัซซี ใน $\Re$ แล้ว $\tilde{A}(+)\tilde{B}$ และ $\tilde{A}(-)\tilde{B}$ ยังคงเป็นตัวเลขฟัซซี
2. ถ้า $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ เป็นตัวเลขฟัซซี ใน $\Re^{+}$ แล้ว $\tilde{A}(.)\tilde{B}$ และ $\tilde{A}(:)\tilde{B}$ ยังคงเป็นตัวเลขฟัซซี
3. ไม่มีภาพ(Image) และอินเวอร์ส(Inverse) ของตัวเลขฟัซซีที่ทำให้

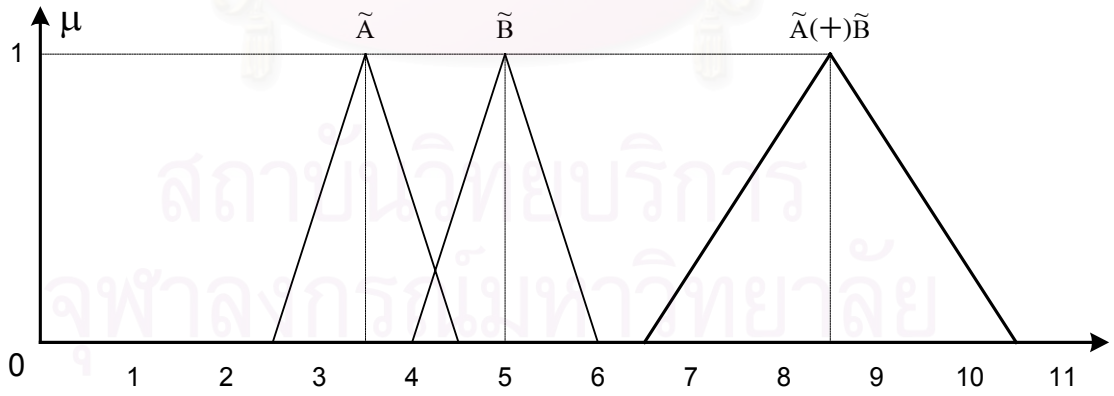
$$\tilde{A}(+)\overline{\tilde{A}} = 0 \quad \text{และ} \quad \tilde{A}(.)\tilde{A}^{-1} = 1$$

4. อสมการต่อไปนี้เป็นจริง

$$(\tilde{A}(-)\tilde{B})\,(+)\,\tilde{B} \neq \tilde{A} \quad \text{และ} \quad (\tilde{A}(:)\tilde{B})\,(.)\,\tilde{B} \neq \tilde{A}$$

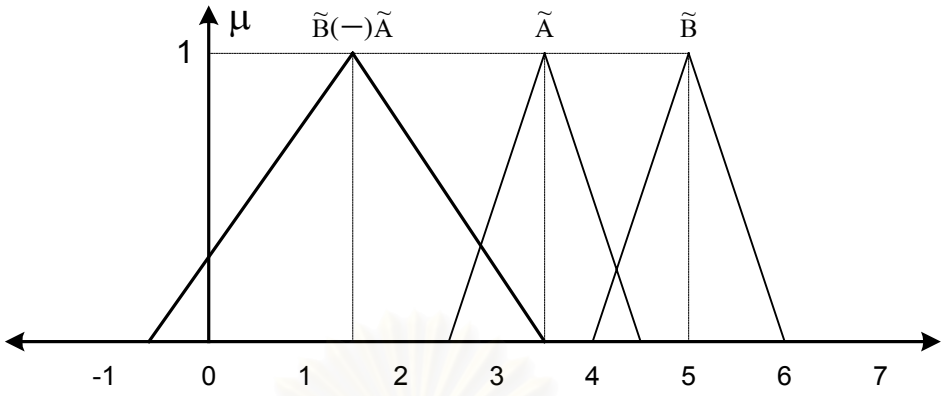
5. ตัวเลขฟัซซีมีคุณสมบัติการสลับที่ และการจัดหมู่

ตัวอย่างที่ 3.4 กำหนดให้ ตัวเลขฟัซซี $\tilde{A}$ แสดงถึงข้อความ "มีค่าประมาณ 3.5" และ $\tilde{B}$ แสดงถึงข้อความ "มีค่าประมาณ 5" โดยกำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม เราจะได้ผลลัพธ์จากการดำเนินการบนตัวเลขฟัซซีโดยใช้หลักการพีชคณิตฟัซซีดังนี้



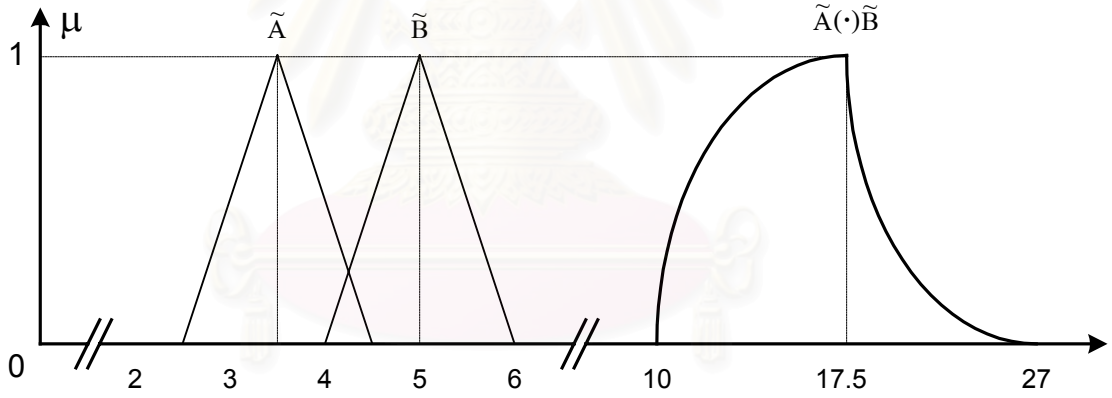
รูปที่ 3.6 การบวกระหว่างตัวเลขฟัซซี่

รูปที่ 3.6 แสดงผลที่ได้จากการบวก คือ $\tilde{A}(+)\tilde{B}$ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลขฟัซซีที่แสดงถึง ข้อความ "มีค่าประมาณ 8.5" โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมเช่นเดียวกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$



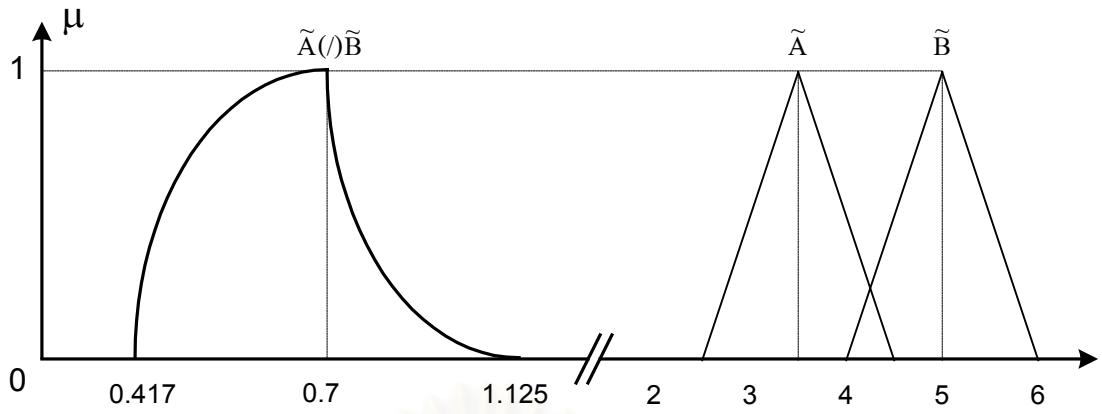
รูปที่ 3.7 การลบระหว่างตัวเลขฟัซซี่

รูปที่ 3.7 แสดงผลที่ได้จากการลบ คือ $\tilde{B}(-)\tilde{A}$ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลขฟัซซีที่แสดงถึง ข้อความ "มีค่าประมาณ 1.5" โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ยังคงเป็นรูปสามเหลี่ยมเช่นเดียวกับ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$



รูปที่ 3.8 การคูณระหว่างตัวเลขฟัซซี่

รูปที่ 3.8 แสดงผลที่ได้จากการคูณ คือ $\tilde{A}(\cdot)\tilde{B}$ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลขฟัซซีที่แสดงถึง ข้อความ "มีค่าประมาณ 17.5" สังเกตว่าในกรณีนี้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของผลลัพธ์ที่ได้จะเพี้ยนไปจากของ $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ ที่เป็นรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 3.9 การหารระหว่างตัวเลขฟัซซี่

รูปที่ 3.9 แสดงผลที่ได้จากการหาร คือ $\tilde{A}(/)\tilde{B}$ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลขฟัซซีที่แสดงถึง ข้อความ "มีค่าประมาณ 0.7" สังเกตว่าในกรณีนี้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของผลลัพธ์ที่ได้จะเพี้ยนไปจากของ $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ ที่เป็นรูปสามเหลี่ยมเช่นเดียวกับกรณีของการคูณ

3.2.8 **สมการฟัซซี** (Fuzzy Equation)

ทฤษฎีฟัซซีในเรื่องของตัวเลขฟัซซี และการดำเนินการทางพีชคณิตบนตัวเลขฟัซซีเป็นพื้นฐานที่สำคัญของเรื่องสมการฟัซซี สมการฟัซซีคือสมการที่ตัวสัมประสิทธ์(Coefficient) หรือตัวแปรเป็นตัวเลขฟัซซี และตัวสมการนั้นถูกเขียนขึ้นมาโดยใช้ตัวดำเนินการของพีชคณิตฟัซซีประกอบเข้าด้วยกัน (คือ การบวก ลบ คูณ และ หาร) แม้ว่าสมการฟัซซีจะเป็นที่รู้จักกันมานานพอสมควรแล้ว แต่ตัวทฤษฎีในเรื่องนี้ยังคงอยู่ในขั้นพัฒนาและยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ อย่างไรก็ตามในกรณีที่เป็นสมการฟัซซีอย่างง่าย เราสามารถอธิบายคุณสมบัติหรือลักษณะ รวมทั้งวิธีการแก้สมการนี้ได้ไม่ยากนัก เช่น สมการ $\tilde{A}+\tilde{X}=\tilde{B}$ โดยในที่นี้ $\tilde{A}$ และ $\tilde{B}$ คือตัวเลขฟัซซี และ $\tilde{X}$ คือตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่เป็นตัวเลขฟัซซี ความยากในการแก้สมการฟัซซีอยู่ที่ข้อเท็จจริงที่ว่า $\tilde{X}=\tilde{B}-\tilde{A}$ ไม่ใช่คำตอบของการแก้ สมการ เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเลขฟัซซีที่ไม่มีอินเวอร์สการบวก

ถ้ากำหนดให้ช่วงปิด 2 ช่วง คือ $A = [a_1, a_2]$ และ $B = [b_1, b_2]$ ซึ่งพิจารณาได้ว่าเป็นกรณีพิเศษของตัวเลขฟัซซี และกำหนดให้ ตัวแปร $X = [x_1, x_2]$ จากสมการ $\tilde{A}+\tilde{X}=\tilde{B}$ แทนค่า X ลงไป จะได้ผลลัพธ์ตามสมการที่ 3.33 คือ

$$[a_1+x_1, a_2+x_2]=[b_1, b_2] \quad (3.33)$$

จากสมการนี้เราสามารถแบ่งปัญหาออกได้เป็น 2 สมการย่อยที่มีองค์ประกอบเป็นตัวเลขปกติ คือสมการ $a_1 + x_1 = b_1$ และ $a_2 + x_2 = b_2$ ซึ่งผลเฉลยของ 2 สมการนี้ก็คือ $x_1 = b_1 - a_1$ และ $x_2 = b_2 - a_2$ ตามลำดับ และเนื่องจาก X จะต้องเป็นช่วงปิด จึงจำเป็นที่ค่า x_1 ที่ได้จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่า x_2 $(x_1 \leq x_2)$ นั่นคือสมการนี้จะมีผลเฉลยก็ต่อเมื่อ $b_1 - a_1 \leq b_2 - a_2$ ซึ่งจะได้ผลเฉลยคือ $X = [b_1 - a_1, b_2 - a_2]$ จากวิธีการนี้ โดยการใช้หลักการของ α-cut เราสามารถหาผลเฉลยของสมการฟัซซีนี้สำหรับตัวเลขฟัซซีใดๆ ได้โดยการพิจารณาค่า ณ α-cut หนึ่ง $(\alpha \in [0,1])$

กำหนดให้ $A_\alpha = [a_1^\alpha, a_2^\alpha]$, $B_\alpha = [b_1^\alpha, b_2^\alpha]$ และ $X_\alpha = [x_1^\alpha, x_2^\alpha]$ คือ α-cut ของ $\tilde{A}$ $\tilde{B}$ และ $\tilde{X}$ ตามลำดับ เราจะได้สมการในรูปของ α-cut คือ $A_\alpha + X_\alpha = B_\alpha$ โดยสมการนี้จะมีผลเฉลยก็ต่อเมื่อ

- $b_1^\alpha - a_1^\alpha \leq b_2^\alpha - a_2^\alpha$ สำหรับ $\forall \alpha \in [0,1]$ และ
- เมื่อ $\alpha \leq \beta$ จะได้ว่า $b_1^\alpha - a_1^\alpha \leq b_1^\beta - a_1^\beta \leq b_2^\beta - a_2^\beta \leq b_2^\alpha - a_2^\alpha$

เราจะได้ผลเฉลยในรูปของค่า ณ α-cut หนึ่ง คือ $X_\alpha = [b_1^\alpha - a_1^\alpha, b_2^\alpha - a_2^\alpha]$ ดังนั้นผลเฉลยที่เป็นตัวเลขฟัซซีของสมการนี้ คือ $\tilde{X}$ จะสามารถคำนวณได้โดยการแก้สมการย่อยนี้สำหรับทุกๆค่า α-cut นั่นเอง

3.2.9 Defuzzification

Defuzzification คือ การเปลี่ยนตัวเลขฟัซซีให้เป็นตัวเลขธรรมดาที่มีค่าๆหนึ่ง วิธีการ Defuzzification มีด้วยกันหลายวิธี ในส่วนนี้จะกล่าวถึง เพียง 3 วิธี คือ

1) วิธีจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (Center of Area Method)

วิธีนี้อาจจะเรียกว่า Center of gravity method หรือ Centroid method พื้นที่ๆอยู่ใต้กราฟฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่เท่าๆกัน 2 พื้นที่ ค่าที่ได้จากการ Defuzzification คำนวณได้จากสมการ 3.34

$$d_{CA}(C) = \frac{\int_{-c}^{c} C(z)zdz}{\int_{-c}^{c} C(z)dz} \tag{3.34}$$

ในกรณีที่เป็น discrete จะคำนวณได้จากสมการ 3.35 โดยที่ C ถูกนิยามบนเซตเอกภพสัมพัทธ์จำกัด (finite universal set) $\{z_1, z_2, ..., z_n\}$

$$d_{CA} = \frac{\sum_{k=1}^{n} C(z_k)z_k}{\sum_{k=1}^{n} C(z_k)} \tag{3.35}$$

2) วิธีศูนย์กลางของค่ามากสุด (Center of Maxima Method)

ในวิธีนี้ค่าที่ได้จากการ Defuzzification จะถูกนิยามเหมือนกับค่าเฉลี่ยของค่าที่เล็กที่สุดและค่าที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$d_{CM}(C) = \frac{\inf\ M + \sup\ M}{2} \tag{3.36}$$

โดยที่

$$M = \{z \in [-c, c] \mid C(z) = h(C)\} \tag{3.37}$$

ในกรณีที่เป็น discrete จะคำนวณได้จากสมการ

$$d_{CM} = \frac{\min\{z_k \mid z_k \in M\} + \max\{z_k \mid z_k \in M\}}{2} \tag{3.38}$$

โดยที่

$$M = \{z_k \mid C(z) = h(C)\} \tag{3.39}$$

3) วิธีค่ากลางของค่ามากที่สุด (Mean of Maxima Method)

โดยทั่วไปวิธีนี้จะใช้กับกรณีที่เป็น discrete ค่าที่ได้จากการ Defuzzification เป็นค่าเฉลี่ยของทุกๆค่าในเซตธรรมดา M ที่ได้นิยามไว้ในสมการที่ 3.39 ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$d_{MM}(C) = \frac{\sum_{z_k \in M} z_k}{|M|} \tag{3.40}$$

ในกรณีที่เป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่อง M จะนิยามตามสมการที่ 3.37 $d_{MM}(C)$ อาจจะนิยามโดยค่าเฉลี่ยทางตรรกะของค่ากลางของรอบทั้งหมดที่อยู่ใน M หรือในอีกวิธีหนึ่ง $d_{MM}(C)$ อาจจะนิยามโดยค่าเฉลี่ยของค่ากลางของรอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การประเมินความเชื่อถือได้

4.1 การประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์

วิธีวิเคราะห์เป็นวิธีที่อาศัยแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แล้วคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ตามสมการคณิตศาสตร์ และถือเป็นวิธีที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่นำมาใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีการหลัก คือ

1. วิธีการลดทอนเครือข่าย
2. วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข
3. วิธีมินิมัลคัตเซต
4. วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้

ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 วิธีลดทอนเครือข่าย (Network reduction method)

วิธีนี้อาศัยหลักการต่ออนุกรมและขนาน ในระบบที่มีอุปกรณ์ต่ออนุกรมกันดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ระบบอนุกรม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะใช้งานได้เมื่ออุปกรณ์ทุกตัวใช้งานได้พร้อมกัน นั่นคือ

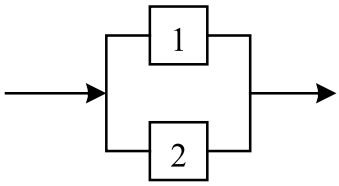
$$R_s = \prod R = R_1 * R_2 \qquad (4.1)$$

โดย R_s คือ ความเชื่อถือได้ของระบบ

R_1 คือ ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ที่ 1

R_2 คือ ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ที่ 2

ระบบที่มีอุปกรณ์ต่อขนานกันดังรูปที่ 4.2 จะขัดข้องเมื่ออุปกรณ์ทุกตัวเกิดขัดข้องพร้อมกัน นั่นคือ



รูปที่ 4.2 ระบบขนาน

$$Q_s = \prod Q = Q_1 * Q_2 \quad (4.2)$$

โดย Q_s คือ ความเสี่ยงได้ของระบบ

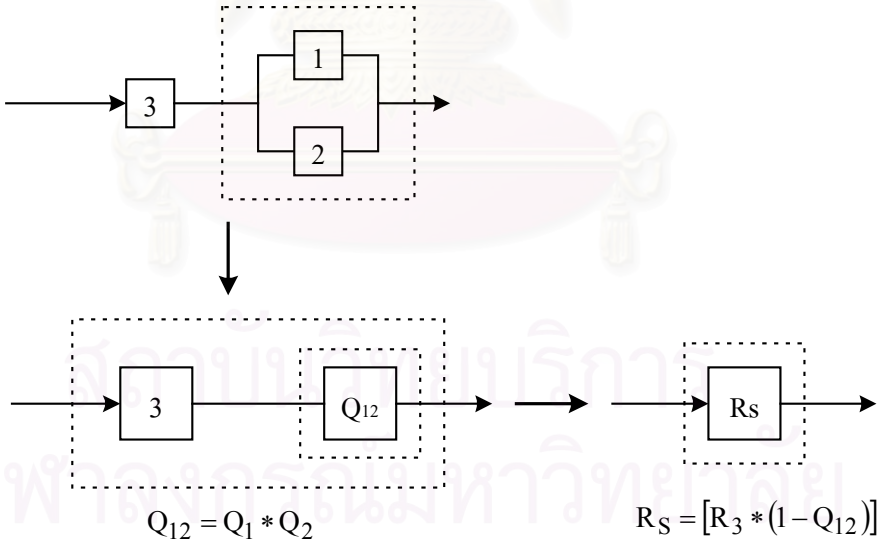
Q_1 คือ ความเสี่ยงได้ของอุปกรณ์ที่ 1

Q_2 คือ ความเสี่ยงได้ของอุปกรณ์ที่ 2

และทั้งระบบอนุกรมและขนานจะสามารถหา R_s หรือ Q_s ได้ดังนี้

$$Q_s = 1 - R_s \quad (4.3)$$

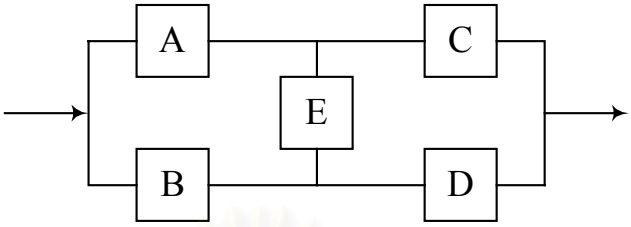
สำหรับระบบที่ประกอบด้วยการต่ออนุกรมและขนานนั้น สามารถวิเคราะห์ความเชื่อถือได้โดยการลดทอนเครือข่ายดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการยุบส่วนของระบบที่ต่อแบบขนานและแบบอนุกรม

จากตัวอย่างในการต่อแบบอนุกรมเมื่อยิ่งเพิ่มอุปกรณ์อนุกรมก็จะทำให้ความเชื่อถือได้ลดลง แต่สำหรับในการต่อแบบขนานถ้าเพิ่มอุปกรณ์ขนานมากขึ้นก็จะทำให้ความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามในระบบที่ซับซ้อนขึ้นเช่นในรูปที่ 4.4 จะไม่สามารถวิเคราะห์โดยการลดทอนเครือข่ายนี้ได้



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างของระบบที่ซับซ้อน

4.1.2 **วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข** (Conditional probability method)

การวิเคราะห์ระบบที่ซับซ้อนเช่นในรูปที่ 4.4 สามารถทำได้โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข หากให้ P คือ ความน่าจะเป็นจะได้ว่า

P(ระบบใช้งานได้หรือล้มเหลว) = P(ระบบใช้งานได้หรือล้มเหลวถ้าอุปกรณ์ 'x' ดี)×P(อุปกรณ์ 'x' ดี) + P(ระบบใช้งานได้หรือล้มเหลวถ้าอุปกรณ์ 'x' เลว)×P(อุปกรณ์ 'x' เลว) (4.4)

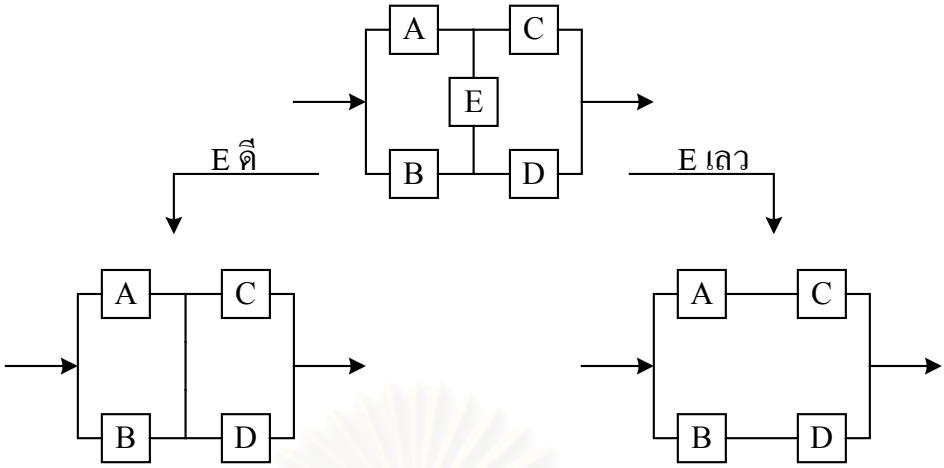
จากในรูปที่ 4.4 จะสามารถวิเคราะห์ R_s ได้รูปที่ 2.5 และได้สมการดังนี้

$$R_s = R_s(\text{ถ้า E ดี})\,R_E + R_s(\text{ถ้า E เลว})\,Q_E \tag{4.5}$$

เงื่อนไข : ให้ E ดี จะได้ $R_{s1} = (1-Q_AQ_B)(1-Q_CQ_D)$ (4.6)

เงื่อนไข : ให้ E เลว จะได้ $R_{s2} = 1-(1-R_AR_C)(1-R_BR_D)$ (4.7)

$$\therefore R_s = (1-Q_AQ_B)(1-Q_CQ_D)R_E + (1-(1-R_AR_C)(1-R_BR_D))Q_E \tag{4.8}$$



รูปที่ 4.5 การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน

วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขเป็นประโยชน์มากในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในด้านความแม่นยำ แต่วิธีนี้ไม่เหมาะต่อการนำไปพัฒนาใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เนื่องจากไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เป็นกรณีทั่วๆไปได้

4.1.3 **วิธีมินิมัลคัตเซต** (Minimal cut set method)

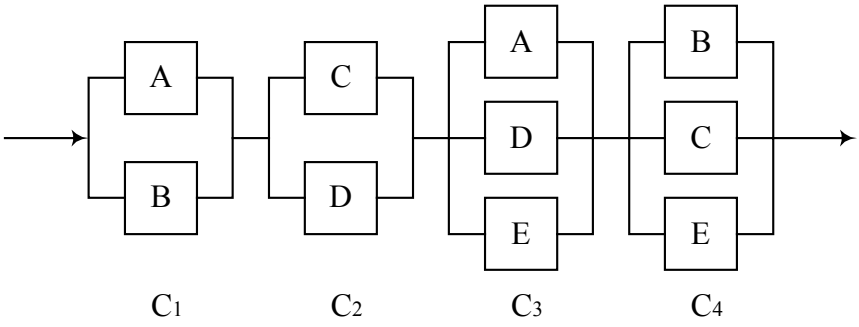
วิธีคัตเซตเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจาก

1. ง่ายต่อการประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ผลรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำสำหรับระบบทั่วๆไป
2. เป็นวิธีที่มีความสัมพันธ์กับสภาวะการเกิดขัดข้องของระบบ

คัตเซต คือ กลุ่มอุปกรณ์ของระบบซึ่งเมื่อเกิดการล้มเหลวหรือขัดข้องแล้วทำให้ระบบล้มเหลวหรือไม่สามารถทำงานได้ตามไปด้วย

มินิมัลคัตเซต คือ คัตเซตที่เล็กที่สุดที่เป็นกลุ่มอุปกรณ์ของระบบซึ่งเมื่อเกิดการล้มเหลวขึ้นแล้วทำให้ระบบล้มเหลวด้วย และหากอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มนั้นใช้งานได้ ระบบจะไม่ล้มเหลว หรือกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ทุกตัวในมินิมัลคัตเซตจะต้องล้มเหลวทั้งหมดจึงจะล้มเหลว จากตัวอย่างระบบดังรูปที่ 4.4

จากวงจรดังรูปจะได้มินิมัลคัตเซตทั้งหมด 4 ชุดดังนี้ AB , CD , AED , BEC และจากนิยามของมินิมัลคัตเซตและหลักการของระบบอนุกรมและขนานจะได้ดังรูปที่ 4.6 โดย C_1 C_2 C_3 และ C_4 คือ มินิมัลคัตเซตที่ 1 2 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 มินิมัลคัตเซตของระบบในรูปที่ 4.4

ความเสี่ยงของระบบคำนวณได้จากสมการ

$$Q_S = P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \ldots \cup C_n) \quad (4.9)$$

ฉะนั้นจากมินิมัลคัตเซตในรูปที่ 4.6 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q_S &= P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \ldots \cup C_n) \\ &= P(C_1) + P(C_2) + P(C_3) + P(C_4) - P(C_1 \cap C_2) - P(C_1 \cap C_3) \\ &\quad - P(C_1 \cap C_4) - P(C_2 \cap C_3) - P(C_2 \cap C_4) - P(C_3 \cap C_4) \\ &\quad + P(C_1 \cap C_2 \cap C_3) + P(C_1 \cap C_2 \cap C_4) + P(C_1 \cap C_3 \cap C_4) \\ &\quad + P(C_2 \cap C_3 \cap C_4) - P(C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cap C_4) \end{aligned} \quad (4.10)$$

โดย $P(C_1) = Q_A Q_B$

$P(C_2) = Q_C Q_D$

$P(C_3) = Q_A Q_D Q_E$

$P(C_4) = Q_B Q_C Q_E$

$P(C_1 \cap C_2) = P(C_1)P(C_2) = Q_A Q_B Q_C Q_D$

$P(C_1 \cap C_3) = P(C_1)P(C_3) = Q_A Q_B Q_D Q_E$

$P(C_1 \cap C_4) = P(C_1)P(C_4) = Q_A Q_B Q_C Q_E$

$P(C_2 \cap C_3) = P(C_2)P(C_3) = Q_A Q_C Q_D Q_E$

$P(C_2 \cap C_4) = P(C_2)P(C_4) = Q_B Q_C Q_D Q_E$

$P(C_3 \cap C_4) = P(C_3)P(C_4) = Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$P(C_1 \cap C_2 \cap C_3) = P(C_1 \cap C_2 \cap C_4)$$
$$= P(C_1 \cap C_3 \cap C_4)$$
$$= P(C_2 \cap C_3 \cap C_4)$$
$$= P(C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cap C_4)$$
$$= Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E$$

ดังนั้น $Q_S = Q_A Q_B + Q_C Q_D + Q_A Q_D Q_E + Q_B Q_C Q_E - Q_A Q_B Q_C Q_D$
$- Q_A Q_B Q_D Q_E - Q_A Q_B Q_C Q_E - Q_A Q_C Q_D Q_E$
$- Q_B Q_C Q_D Q_E + 2Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E$

(4.11)

ในระบบที่มีจำนวนมินิมัลคัตเซตมาก วิธีการดังกล่าวจะไม่ค่อยสะดวกนักจึงได้มีการประมาณจากวิธีนี้ จากสมการที่ 4.9 เมื่อวิเคราะห์โดยประมาณจะได้ว่า

$$Q_S = P(C_1) + P(C_2) + P(C_3) + \ldots + P(C_i) + \ldots + P(C_n)$$
$$= \sum_{i=1}^{n} P(C_i)$$

(4.12)

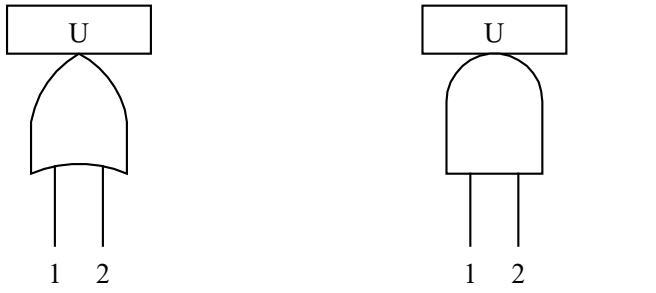
จากตัวอย่างในสมการที่ 4.11 ถ้าใช้วิธีโดยประมาณจะเหลือดังสมการที่ 4.13

$$Q_S = Q_A Q_B + Q_C Q_D + Q_A Q_D Q_E + Q_B Q_C Q_E$$

(4.13)

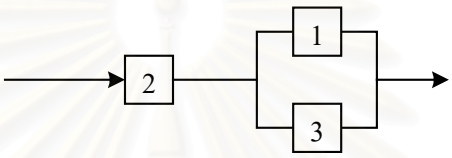
4.1.4 การวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลว (Fault tree analysis method)

การวิเคราะห์ Fault tree อาศัยหลักการของ Logic gate โดยมีการประยุกต์เข้ากับการคำนวณความเชื่อถือได้ดังรูปที่ 4.7 ข้อมูลเข้าเกทแต่ละตัวคือ เหตุการณ์พื้นฐาน (Basic event) k เหตุการณ์ โดยมีผลลัพธ์ คือ การขาดพลังงานไฟฟ้าทางด้านขาออกของสถานีไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า Top event หรือ Fault event ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.8 และ 4.9

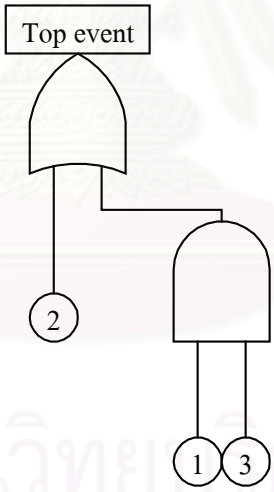


$U = U_1 U_2$ $\qquad$ $U = 1 - (1 - U_1)(1 - U_2)$

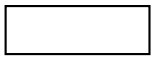
รูปที่ 4.7 การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณค่า U



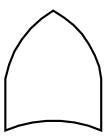
รูปที่ 4.8 ระบบตัวอย่าง



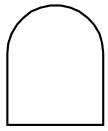
รูปที่ 4.9 แผนภาพต้นไม้แสดงการล้มเหลวของระบบ

โดยที่  หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากเกท (กรณีที่ใช้กับ Logic gates)

หมายถึง เหตุการณ์พื้นฐาน (กรณีที่ใช้กับ Logic gates)

 หมายถึง เกท ‘OR’

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายถึง เกท ‘AND’

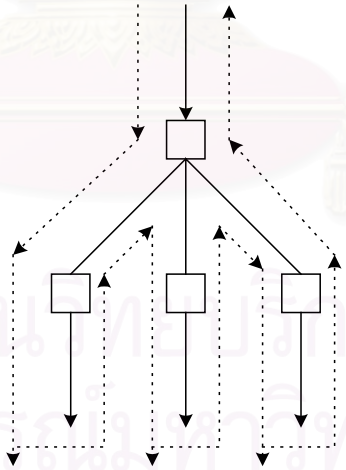
และ U หมายถึง ความไม่พร้อมมูล

. **4.1.5 วิธีการหาเส้นทางการจ่ายไฟฟ้า**

วิธีการวิเคราะห์แบบมินิมัลคัตเซตจำเป็นต้องทราบเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบการหาอัตราการล้มเหลวและระยะเวลาที่เกิดไฟดับเฉลี่ยของแต่ละจุดโหลด การหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้านั้นทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

1) การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีย้อนกลับไปมา

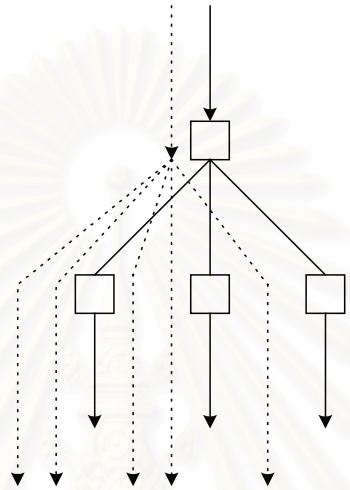
จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าเส้นประแสดงเส้นทางที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ตรวจสอบหาเส้นทางที่เป็นไปได้จะมีลักษณะที่ต้องผ่านอุปกรณ์ทุกตัวทั้งขาไปและขากลับ วิธีการนี้ถึงจะมีข้อดีในแง่ที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจแต่มีข้อเสียในแง่ที่คอมพิวเตอร์ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากเนื่องจากต้องพิจารณาผ่านอุปกรณ์ทุกตัวทั้งขาไปและขากลับ



รูปที่ 4.10 แสดงการตรวจสอบหาเส้นทางในวิธีย้อนกลับไปมา

2) การตรวจหาเส้นทางแบบสุ่ม

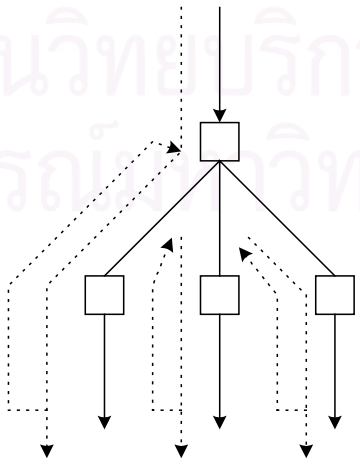
ดังรูป 4.11 แสดงวิธีการหาเส้นทางโดยอาศัยการสุ่มหาอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ตัวถัดไป วิธีนี้มีข้อดีในแง่ที่ง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรมเพราะไม่ต้องสร้างฟังก์ชันในการพิจารณาเส้นทางที่ซับซ้อน แต่ต้องใช้ฟังก์ชันสุ่มซึ่งเป็นฟังก์ชันมาตรฐานที่มีอยู่แล้วในภาษาคอมพิวเตอร์ แต่มีข้อเสียในแง่ที่คอมพิวเตอร์ยังคงต้อใช้เวลาการคำนวณมากเพราะการสุ่มนั้นต้องทำหลายครั้งเพื่อให้ครบทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ประกอบกับการสุ่มนั้นมีโอกาสที่ทำให้เกิดเส้นทางซ้ำซ้อนกับเส้นทางที่ได้ทำการสุ่มไว้แล้ว



รูปที่ 4.11 แสดงการหาเส้นทางแบบสุ่มซึ่งมีเส้นทางซ้ำกัน

3) การตรวจหาเส้นทางแบบวิธีจดจำปม

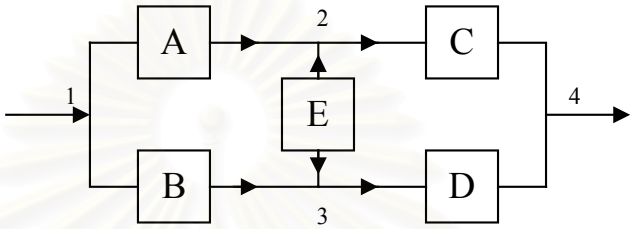
ตามที่แสดงในรูปที่ 4.12 นี้จะใช้หลักการพิจารณาอุปกรณ์ถัดไปทีละตัวจนถึงปลายทาง โดยจดจำอุปกรณ์ที่ผ่านมาก่อนหน้านี้ไว้เป็นจุดแยก เมื่อพบปลายทางแล้วก็กระโดดย้อนกลับไปที่จุดแยกเพื่อเริ่มหาเส้นทางใหม่ วิธีนี้ไม่ต้องสุ่มเป็นจำนวนครั้งมากๆแต่ก็ต้องมีการตรวจสอบการวนรอบ



รูปที่ 4.12 แสดงการหาเส้นทางโดยแสดงการกระโดดกลับไปยังจุดแยก

4) เทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริกซ์

วิธีนี้อาศัยหลักความสัมพันธ์ของเมตริกโดยการนำระบบที่ต้องการหาเส้นทางมาแปลงให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.13 มีอุปกรณ์ทั้งหมด 5 ตัว หากเราต้องการทราบเส้นทางจากโนด (Node) 1 ไปยังโนด 4 สามารถสร้างเมตริกซ์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.13 ระบบตัวอย่างที่ซับซ้อนที่แสดงเส้นทางการจ่ายไฟและเลขโนด

หลักการที่ใช้สร้างเมตริกซ์ คือ

- 0 : เมื่อระหว่างโนดไม่มีอุปกรณ์ต่ออยู่ หรือ ทิศของเส้นทางสวนทางกับการจ่ายไฟ และอุปกรณ์เป็นอุปกรณ์เป็นแบบจ่ายไฟทางเดียว
- 1 : เมื่อต่อระหว่างโนดเดียวกัน
- ชื่ออุปกรณ์ : เมื่อระหว่างโนดมีอุปกรณ์ต่ออยู่ โดยที่ทิศทางของเส้นทางมีทิศเดียวกับทิศทางการจ่ายไฟ ซึ่งต้องพิจารณาด้วยว่า อุปกรณ์สามารถจ่ายไฟได้ 2 ทางหรือไม่ เช่น อุปกรณ์ E

จากหลักการดังกล่าวสามารถสร้างเมตริกซ์ได้ดังนี้

		ถึง			
	โนด	1	2	3	4
จาก	1	1	A	B	0
	2	0	1	E	C
	3	0	E	1	D
	4	0	0	0	1

จากเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นสามารถหาเส้นทางการเดินจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสิ้นสุดได้ 2 วิธีคือ

4.1) วิธีคูณเมตริกซ์ (Matrix multiplication)

วิธีการนี้ใช้วิธีคูณด้วยเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นไปจนกว่าเมตริกซ์ที่ได้ไม่เปลี่ยนแปลง ดังในรูปที่ 4.13 เมตริกซ์ M เป็นเมตริกซ์ที่สร้างขึ้น เมื่อยกกำลังเมตริกซ์ M ไปเรื่อยๆ จนเมตริกซ์ไม่เปลี่ยนแปลงก็เป็นการสิ้นสุดกระบวนการ สามารถแสดงวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$M = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 1 & 2 & 3 & 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & A & B & 0 \\ 0 & 1 & E & C \\ 0 & E & 1 & D \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

ฉะนั้น

$$M^2 = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 1 & 2 & 3 & 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & A+BE & B+AE & AC+BD \\ 0 & 1 & E & C+DE \\ 0 & E & 1 & EC+D \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

$$M^3 = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} 1 & 2 & 3 & 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & A+BE & B+AE & AC+BD+BEC+AED \\ 0 & 1 & E & C+DE \\ 0 & E & 1 & EC+D \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

จากการคำนวณเมื่อเมตริกซ์ยกกำลัง 3 แล้วเมตริกซ์ก็ไม่เปลี่ยนแปลงผลดังกล่าวทำให้ทราบเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากทุกๆ โนดไปยังทุกๆ โนด ตัวอย่างเช่น จากโนด 1 ไปยังโนด 4 มีเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ได้ 4 วิธีด้วยกันคือ AC, BD, BEC และ AED แต่จะเสียเวลาในการคำนวณสำหรับโนดที่ไม่ต้องการทราบเส้นทาง ยิ่งระบบที่มีอุปกรณ์และโนดจำนวนมากจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2) วิธีเคลื่อนย้ายโนด (Node removal)

วิธีการนี้จะหาเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าเฉพาะระหว่างโนดเริ่มต้นและโนดสิ้นสุดที่ต้องการเท่านั้น โดยการเคลื่อนย้ายโนดที่ไม่ใช่โนดเริ่มต้นและโนดสิ้นสุดออกจากเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นจนกระทั่งขนาดเมตริกซ์ลดลงเหลือขนาด 2×2

สมการที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายโนด k ออกจากเมตริกซ์คือ

$$M_{ij} = N_{ij} + (N_{ik}N_{kj}) \qquad i , j \neq k \tag{4.14}$$

เมื่อ M_{ij} คือ เมตริกซ์ใหม่ที่เคลื่อนย้ายโนด k แล้ว

จากตัวอย่างในรูปที่ 4.13 และเมตริกซ์ที่สร้างขึ้นสามารถแสดงวิธีการเคลื่อนย้ายโนด 2 ได้ดังต่อไปนี้

$M_{11} = 1+A*0 = 1$

$M_{13} = B+A*E = B+AE$

$M_{14} = 0+A*C = AC$

$M_{31} = 0+E*0 = 0$

$M_{33} = 1+E*E = 1$

$M_{34} = D+E*C = D+EC$

$M_{41} = 0+0*0 = 0$

$M_{43} = 0+0*E = 0$

$M_{44} = 1+0*C = 1$

เมตริกซ์ที่เคลื่อนย้ายโนด 2 แล้วคือ

$$\begin{array}{c} \\ 1 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} 1 & 3 & 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & B+AE & AC \\ 0 & 1 & EC+D \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

ต่อไปเมื่อพิจารณาเคลื่อนย้ายโนด 3

$M_{11} = 1 + (B + AE)*0 = 1$

$M_{14} = AC + (B + AE)(D + EC) = AC + BD + BEC + AED$

$M_{41} = 0 + 0*0 = 0$

$M_{44} = 1 + 0*1 = 1$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมตริกซ์สุดท้ายที่เคลื่อนย้ายโนดเรียบร้อยแล้วคือ

$$\begin{array}{c} \\ 1 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} 1 & 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & AC+BD+BEC+AED \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

จากเมตริกซ์ดังกล่าวทำให้ทราบเส้นทางการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโนด 1 ไปยังโนด 4 ซึ่งไม่แตกต่างไปจากวิธีคูณเมตริกซ์แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าเนื่องจากไม่ต้องทำการคำนวณโนดที่ไม่สนใจ

4.2 การประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

วิธีการวิเคราะห์มีจุดด้อยเนื่องจาก การคำนวณจะมีความซับซ้อน และเสียเวลามากหากระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีการจำลองเหตุการณ์แม้ว่าจะต้องการเวลาในการคำนวณสูง แต่สามารถจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนได้ดี วิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสุ่มผ่านแบบจำลองที่จำลองพฤติกรรมของระบบจริงโดยที่อุปกรณ์ต่างๆที่ทำงานในระบบจะมีพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันไป เช่น จำนวนครั้งที่เกิดการล้มเหลว ช่วงเวลาระหว่างการล้มเหลว ช่วงเวลาในการซ่อมแซม เป็นต้น โดยการสุ่มนั้นจะถูกกระทำซ้ำหลายๆครั้ง จากกระบวนการจำลองดังกล่าวจะนำสู่การตรวจสอบและทำนายรูปแบบพฤติกรรมของระบบในช่วงเวลาที่จำลองเหตุการณ์ เพื่อที่จะได้ค่าการกระจายของความถี่หรือความน่าจะเป็นของดัชนีความเชื่อถือได้ต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลัง และเป็นการประมาณค่าความคาดหวังหรือค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเชื่อถือได้แบบต่างๆ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการสุ่มแบบมอนติคาร์โล 3 แบบได้แก่ การสุ่มสถานะ(State sampling) ซึ่งเป็นการสุ่มแบบที่แต่ละสถานะไม่เกี่ยวเนื่องกัน จากนั้นจะกล่าวถึงการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน(State duration sampling) และการสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ(System state transition sampling) ซึ่งเป็นการสุ่มซึ่งแต่ละสถานะเกี่ยวเนื่องกัน

4.2.1 การสุ่มสถานะ [5,6]

การสุ่มสถานะเป็นการสุ่มตัวเลข(U)ในช่วง [0,1] หนึ่งตัวสำหรับอุปกรณ์แต่ละตัวหากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่ามากกว่าค่าดัชนีความเสี่ยงของอุปกรณ์ หมายความว่าอุปกรณ์ไม่ล้มเหลว แต่หากตัว

เลขที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่าดัชนีความเสี่ยงของอุปกรณ์ก็หมายความว่าอุปกรณ์เกิดเหตุขัดข้องหรือล้มเหลว ดังแสดงในรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.14 วิธีการสุ่มสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์

ข้อดีของการสุ่มโดยการสุ่มสถานะของระบบคือ วิธีการสุ่มไม่ยุ่งยาก และข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ก็มีเพียงค่าความไม่พร้อมมูลของแต่ละอุปกรณ์ แต่ถ้าต้องการคำนวณดัชนีของระบบที่เกี่ยวข้องกับความถี่ต้องอาศัยการคำนวณเพิ่มเติมที่ซับซ้อนและเสียเวลามากขึ้น

4.2.2 การสุ่มช่วงเวลาการทำงาน [5,6,7]

การสุ่มช่วงเวลาการทำงานเป็นการสุ่มโดยมีสมมติฐานให้ช่วงเวลาการทำงาน(T)ในแต่ละสถานะเช่นสถานะดีหรือสถานะเสีย ของอุปกรณ์เป็นการกระจายแบบเอ็กโพเนนเชียล(Exponential distribution)ซึ่งมีรูปของฟังก์ชันความหนาแน่น(Density function) ดังสมการ (4.15)

$$f_T(t) = \lambda e^{-\lambda t} \tag{4.15}$$

โดย λ = อัตราความล้มเหลว

t = เวลา

ดังนั้นค่าความไม่พร้อมมูล(U)ที่เวลา T คำนวณได้จาก

$$U = F_T(T) = \int_0^T \lambda e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\lambda T} \tag{4.16}$$

จะได้

$$T = -\frac{1}{\lambda}\ln(1-U) \tag{4.14}$$

แต่ 1-U มีการกระจายเช่นเดียวกับ U ดังนั้น

$$T = -\frac{1}{\lambda}\ln(U) \qquad (4.15)$$

สำหรับข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) ซึ่งมีฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) ดังนี้

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{\left(x-\mu^2\right)}{2\sigma^2}\right], \quad -\infty < x < \infty \qquad (4.16)$$

หรือ เขียนได้อีกแบบว่า $N(\mu,\sigma^2)$ โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต σ^2 คือ ค่าความแปรปรวน

$$X = \mu + \sigma Z \qquad (4.17)$$

Z คือ ข้อมูลที่มีการกกระจายแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 0 และ ค่าแปรปรวนเท่ากับ 1

เนื่องจากใน Matlab มีฟังก์ชั่นในการสร้างค่า Z ได้โดยใช้คำสั่ง randn จากสมการที่ 4.17 ซึ่งทำให้เราสามารถสร้างข้อมูลที่มีการกระจายแบบปกติได้

ด้วยวิธีการดังกล่าวจะสามารถสุ่มระยะเวลาที่แต่ละอุปกรณ์อยู่ในสถานะหนึ่ง ๆ จนกระทั่งเปลี่ยนสถานะ และเมื่อทำซ้ำจนครบทุกอุปกรณ์จนครบระยะเวลาที่ต้องการจะได้ข้อมูลของระบบ

ขั้นตอนในการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 : สร้างตัวเลขสุ่มของแต่ละอุปกรณ์ในระบบ แล้วคำนวณให้เป็น TTF โดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนค่าดังที่อธิบายไว้ข้างต้น ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับรูปแบบการกระจายของข้อมูล

ขั้นที่ 2 : หาอุปกรณ์ที่ TTF น้อยที่สุด

ขั้นที่ 3 : สร้างตัวเลขสุ่มของอุปกรณ์ที่ TTF น้อยที่สุด แล้วคำนวณให้เป็น TTR ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับรูปแบบการกระจายของข้อมูล

ขั้นที่ 4 : สร้างตัวเลขสุ่มขึ้นมาอีกตัวหนึ่ง แล้วคำนวณให้เป็นเวลาในการสวิตซ์ชิ่ง ถ้าอุปกรณ์ที่สามารถสวิตซ์ชิ่งได้

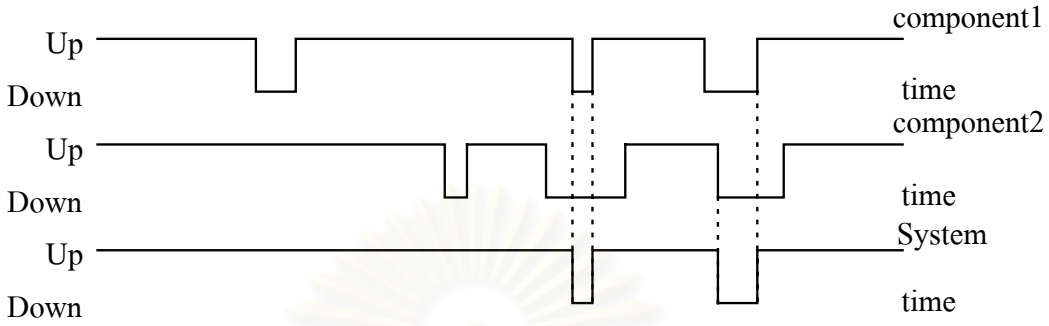
ขั้นที่ 5 : พิจารณาการเสียของจุดโหลด

ขั้นที่ 6 : คำนวณจำนวนครั้งและช่วงเวลาการเสีย ณ จุดโหลด

ขั้นที่ 8 : ทำซ้ำในขั้นที่ 1-6 จนกว่าเวลาในการสร้างแบบจำลองจะมากกว่าเวลาที่กำหนดไว้หรือค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของดัชนีของจุดโหลดจะน้อยกว่าค่าที่กำหนด

ขั้นที่ 9 : คำนวณค่าเฉลี่ยของดัชนี ณ จุดโหลด และดัชนีของระบบ

ตัวอย่างในรูปที่ 4.15 แสดงลำดับการทำงานและซ่อมแซมในกรณีที่ระบบมีอุปกรณ์เพียง 2 อุปกรณ์



รูปที่ 4.15 แสดงลำดับการทำงานของระบบที่มีอุปกรณ์แบบซ่อมแซมได้ 2 ตัว

ขั้นตอนการหาการขัดข้องของจุดโหลดสามารถทำได้ดังนี้

(1) หาชนิดและตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เสีย
(2) หาผลที่มีต่อจุดโหลดที่ต่ออยู่สายป้อนที่เสีย ช่วงเวลาในการเสียขึ้นกับโครงสร้างของระบบและระบบป้องกัน
(3) หาสายป้อนย่อยซึ่งอยู่ทางด้านล่างที่ต่อกับสายป้อนที่เสียและผลที่เกิดกับจุดโหลดที่ต่อกับสายป้อนย่อยนั้น
(4) ทำ (2) และ (3) ซ้ำจนกว่าจะครบทุกสายป้อนย่อยที่ต่อกับสายป้อนที่เสีย
(5) หาผลกระทบต่อโหลดของสายป้อนที่ต่ออยู่ต้นทางของสายป้อนที่เสีย
(6) ทำ (2) ถึง (3) จนกว่าสายป้อนหลักจะถูกวิเคราะห์

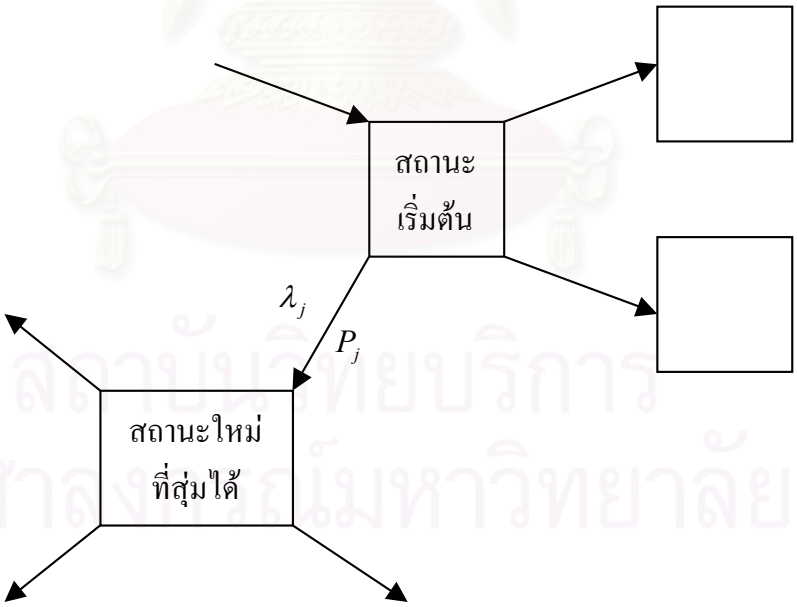
วิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงานในแต่ละสถานะของแต่ละอุปกรณ์มีข้อดีคือ สามารถจำลองลักษณะการกระจายของสถานะการทำงานของอุปกรณ์โดยใช้การกระจายแบบใดก็ได้ และสามารถคำนวณดัชนีเกี่ยวกับความถี่และระยะเวลาได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ แต่มีข้อเสียที่ต้องใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์สูงกว่า ใช้เวลาการคำนวณมากกว่า และมีความซับซ้อนสูง

4.2.3 **การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ** [5]

การสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบเป็นวิธีการสุ่มโดยมุ่งเน้นที่การเปลี่ยนสถานะของระบบมิใช่การเปลี่ยนสถานะของแต่ละอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.16

หากพิจารณาระบบที่มีอุปกรณ์ทั้งสิ้นจำนวน m อุปกรณ์ โดยมีสมมติฐานว่าช่วงเวลาที่แต่ละอุปกรณ์จะคงอยู่ในแต่ละสถานะมีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียล ระบบจะมีสถานะเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับ $\left\{S^{(1)},S^{(2)},...,S^{(n)}\right\}$ หากสถานะปัจจุบันของระบบคือ $S^{(k)}$ และอัตราการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ทุกอุปกรณ์ที่สอดคล้องกับสถานะดังกล่าวคือ $\lambda_i \quad (i=1,K,m)$ โดย λ_i จะหมายถึงอัตราซ่อมแซมของอุปกรณ์ตัวที่ i อยู่ในสถานะล้มเหลว และ λ_i จะหมายถึงอัตราการล้มเหลวหากอุปกรณ์ตัวที่ i อยู่ในสถานะปกติ

ดังนั้นช่วงเวลาในแต่ละสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ i ในระบบ(T_i) ในสถานะ $S^{(k)}$ จะมีฟังก์ชันความหนาแน่น $f_i(t)=\lambda_i e^{-\lambda_i t}$ สำหรับการเปลี่ยนสถานะของระบบจะถูกกำหนดโดยการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ตัวแรกในระบบ กล่าวคือช่วงเวลา T ที่ระบบจะอยู่ในสถานะ $S^{(k)}$ จะเป็นไปตามสมการ (4.18)



รูปที่ 4.16 แบบจำลองการสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ

$$T=\min_i\{T_i\} \tag{4.18}$$

และเนื่องจาก ช่วงเวลาในแต่ละสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ i ในระบบ(T_i) มีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียล ดังนั้น ช่วงเวลา T ที่ระบบจะอยู่ในสถานะ $S^{(k)}$ จะมีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียลเช่นเดียวกัน โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นดังสมการ (4.19)

$$f(t) = \left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \right) e^{-\left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \right) t} \tag{4.19}$$

หากการเปลี่ยนสถานะของระบบจากสถานะที่ $S^{(k)}$ ไปสู่สถานะที่ $S^{(k+1)}$ เกิดขึ้นที่เวลา t_o ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเปลี่ยนสถานะนี้มีสาเหตุจากการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ตัวที่ j (P_j) ในระบบจะเป็นไปตามสมการความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข(Conditional probability) ดังแสดงในสมการ 4.20

$$P_j = P(T_j = t_0 / T = t_0) \tag{4.20}$$

และจากทฤษฎีของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขจะสามารถเขียนสมการ 4.20 ได้ใหม่ดังสมการที่ 4.21 ถึง 4.24

$$P_j = P(T_j = t_0 / T = t_0) \tag{4.21}$$

$$= \frac{P(T_j = t_0 \cap T = t_0)}{P(T = t_0)}$$

$$= \frac{P(T_j = t_0 \cap (Ti \geq t_0, i = 1, K, m))}{P(T = t_0)} \tag{4.23}$$

$$= \frac{P(T_j = t_0) \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{m} P(T_i \geq t_0)}{P(T = t_0)} \tag{4.24}$$

และเนื่องจากทั้ง $T_i \quad (i = 1, K, m)$ และ T ต่างก็กระจายแบบเอกโพเนนเชียลดังนั้น

$$P(T_i \geq t_0) = \int_{t_0}^{\infty} \lambda_i e^{-\lambda_i t_0} dt = e^{-\lambda_i t_0} \tag{4.25}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$P(T_i = t_0) = \lim_{\Delta t \to 0} \lambda_j e^{-\lambda_j t_0} \Delta t \tag{4.26}$$

$$P(T = t_0) = \lim_{\Delta t \to 0} \left\{ \left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \right) e^{-\left(\sum_{i=1}^{m} \lambda_i \right) t_0} \right\} \Delta t \tag{4.27}$$

เมื่อแทนสมการ 4.25, 4.26 และ 4.27 ลงในสมการ 4.24 จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในสมการที่ 4.28

$$P_j = P(T_j = t_0 / T = t_0) = \frac{\lambda_j}{\sum_{i=1}^{m} \lambda_i} \tag{4.28}$$

และ

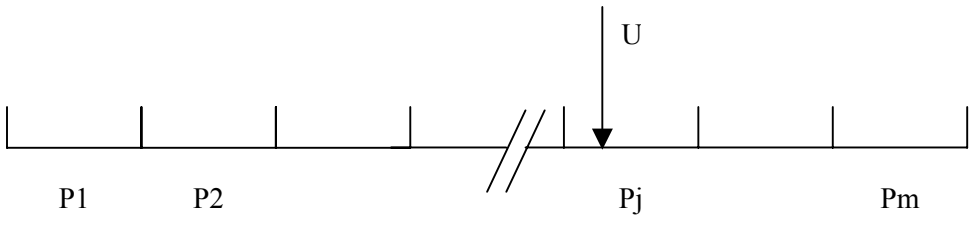
$$\sum_{j=1}^{m} P_j = 1 \tag{4.29}$$

สำหรับช่วงเวลา D_k ที่ระบบจะคงอยู่ในสถานะ $S^{(k)}$ จะมีการกระจายแบบเอกโพเนนเชียล ดังนั้นจะสามารถคำนวณช่วงเวลาดังกล่าวได้ในทำนองเดียวกับที่แสดงไว้ในสมการ 4.15 จะได้สมการดังแสดงไว้ในสมการ 4.30

$$D_k = -\frac{1}{\sum_{i=1}^{m} \lambda_i} \ln(U') \tag{4.30}$$

โดย U' คือตัวเลขสุ่มในช่วง [0,1]

และสำหรับการสุ่มสถานะต่อไปของระบบสามารถสุ่มโดยสุ่มตัวเลขสุ่ม U ในช่วง [0,1] ดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 4.17 การสุ่มสถานะถัดไปของระบบด้วยวิธีการสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ

สำหรับการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น จะต้องคำนึงถึงผลที่เกิดจากการตัดวงจรของอุปกรณ์ป้องกันด้วย ดังนั้นจึงใช้วิธีการสุ่มช่วงเวลาการทำงาน ซึ่งสามารถนำผลของการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันมาร่วมคิดด้วยได้สะดวกกว่า การใช้วิธีการสุ่มสถานะหรือวิธีการสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ

4.3 สรุปวิธีการคำนวณ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาการประเมินความเชื่อถือได้โดยอาศัยวิธีการหลัก 2 วิธี อันประกอบด้วย 1) วิธีการวิเคราะห์ และ2) วิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โล

สำหรับวิธีการวิเคราะห์นั้น จะใช้วิธีมินิมัลคัตเซตและเทคนิคความสัมพันธ์ของเมตริก เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ใช้คำนวณกับระบบซับซ้อนได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ และสะดวกในการพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์

สำหรับวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โล เลือกใช้วิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลา เพราะในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายนั้น จะต้องคิดผลการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน และการถ่ายโอนโหลด ทำให้ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับหนึ่งครั้งในแต่ละจุดโหลดไม่เท่ากัน โดยวิธีจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลา สามารถนำแต่ละช่วงเวลามาคิดได้สะดวกกว่าวิธีการสุ่มสถานะ และสุ่มการเปลี่ยนสถานะของระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ดัชนีสากลความมั่นคงของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น จะต้องคำนึงถึงสถิติการทำงานหรือการคาดการณ์การทำงานของอุปกรณ์ต่องๆที่ประกอบกันขึ้นเป็นระบบว่าจะเกิดเหตุขัดข้องขึ้นบ่อยครั้งหรือเมื่อเกิดเหตุขัดข้องแล้วต้องใช้เวลาซ่อมแซมนานหรือไม่ เพื่อที่จะสามารถทำการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ได้ตามปกติอีกครั้ง ซึ่งดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่นิยมพิจารณาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด และ ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยรายละเอียดดัชนีต่างๆพอจะนำมาสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 ดัชนีความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด[7,8]

ดัชนีความเชื่อถือได้พื้นฐานของจุดโหลดที่นิยมใช้ได้แก่

อัตราการล้มเหลวเฉลี่ย (Average Failure Rate :λ) หมายถึง ความถี่ของการล้มเหลวหรือการไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ ณ จุดโหลดตามที่กำหนดไว้โดยเฉลี่ย ความถี่ดังกล่าวมักจะมีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อหนึ่งปี

ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับเฉลี่ย (Average Outage Time : r) หมายถึง ช่วงระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดเหตุขัดข้องหรือเกิดไฟฟ้าดับ ณ จุดโหลดนั้น ในแต่ละครั้งจนระบบกลับเข้าสู่สภาวะปกติ

ระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดไฟฟ้าดับในหนึ่งปี (Average Annual Outage Time : U) หมายถึง ช่วงระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องรวมกันทั้งหมดในหนึ่งปี

ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย ณ จุดโหลด ด้วยวิธีการวิเคราะห์ จะแตกต่างจากวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติ คาร์โล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย ณ จุดโหลด ด้วยวิธีการวิเคราะห์

$$\lambda_S = \sum_i \lambda_i \tag{5.1}$$

$$U_S = \sum_i \lambda_i r_i \tag{5.2}$$

$$r_S = \frac{U_S}{\lambda_S} = \frac{\sum_i \lambda_i r_i}{\sum_i \lambda_i} \tag{5.3}$$

โดยที่ i คือ จำนวนอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรม

λ คือ อัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์

r คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์

5.1.2 การคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย ณ จุดโหลด ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

$$\lambda_j = \frac{N_j}{\sum T_{uj}} \tag{5.4}$$

$$r_j = \frac{\sum T_{dj}}{N_j} \tag{5.5}$$

$$U_j = \frac{\sum T_{dj}}{\sum T_{uj} + \sum T_{di}} \tag{5.6}$$

โดยที่ T_u คือ เวลาที่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดได้

T_d คือ เวลาที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดได้

N คือ จำนวนครั้งที่เสียในช่วงเวลาที่ทำการสุ่ม

5.2 ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า

จากค่าดัชนีพื้นฐาน ณ จุดโหลดจะนำไปคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟ (Customer-oriented Index) ซึ่งเป็นดัชนีความเชื่อถือได้ที่บอกถึงค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่ไฟดับและจำนวนเวลาที่ไฟดับต่อผู้ใช้ 1 ราย ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบกันระหว่างระบบต่างๆได้ และยังทำให้สามารถตั้งเป้าหมายจำนวนครั้งหรือเวลาที่จะปรับปรุงให้ดีขึ้นและดำเนินการให้เป็นไปตามเป้าหมายได้ ดัชนีดังกล่าวได้แก่

SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) : ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย มีหน่วยเป็น ครั้งต่อปีต่อราย

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนครั้งไฟดับที่ผู้ใช้ไฟแต่ละรายตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}} = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \tag{5.7}$$

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ต่อ ณ. จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) : ดัชนีที่บอกจำนวนเวลาที่ไฟดับเฉลี่ยของทั้งระบบ มีหน่วยเป็น ชั่วโมง/ปี-ราย

$$SAIDI = \frac{\text{ผลรวมของระยะเวลาที่ผู้ใช้แต่ละรายเกิดไฟดับตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}}$$

$$= \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i}$$

(5.8)

CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) หมายถึง ดัชนีแสดงจำนวนเวลาที่มีไฟดับที่ผู้ใช้ไฟเฉลี่ยต่อครั้ง

$$CAIDI = \frac{\text{จำนวนเวลาที่ผู้ใช้ไฟเกิดไฟดับรวมกันตลอดปี}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับ}}$$

$$= \frac{\Sigma U_i N_i}{\Sigma \lambda_i N_i}$$

(5.9)

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

ASAI (Average Service Availability Index) หมายถึง ดัชนีชี้บอกการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย

$$ASAI = \frac{\text{จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่มีไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟแต่ละรายใช้}}{\text{จำนวนชั่วโมงที่ผู้ใช้ไฟแต่ละรายต้องการไฟฟ้าใช้}}$$

$$= \frac{\Sigma N_i \times 8760 - \Sigma U_i N_i}{\Sigma N_i \times 8760}$$

(5.10)

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

ASUI (Average Service Unavailability Index) หมายถึง ดัชนีแสดงการไม่มีไฟฟ้าใช้ของลูกค้าเฉลี่ย

$$ASUI = \frac{\text{จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยทีผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายไม่มีไฟฟ้าใช้}}{\text{จำนวนชั่วโมงที่ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายต้องการไฟฟ้าใช้}}$$

$$= 1 - ASAI$$

(5.11)

ENS (Energy Not Supplied Index) หมายถึง ดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายของผู้ใช้ไฟ

ENS = จำนวนพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่าย

$$= \Sigma L_{a(i)} U_i$$

(5.12)

เมื่อ i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

$L_{a(i)}$ คือ โหลดเฉลี่ยที่ต่อจุดโหลด i

ASCI (Average System Curtailment Index) หรือ AENS (Average Energy Not Supplied) หมายถึง ค่าเฉลี่ยดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ขาดหายไปเนื่องมาจากสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องในรอบหนึ่งปีต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย คำนวณได้จากพลังงานที่จ่ายให้ผู้ใช้ไฟไม่ได้ (Energy Not Supplied or ENS) หรือพลังงานที่ขาดหายไปด้วยเหตุไฟฟ้าขัดข้องหารด้วยจำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

$$AENS = \frac{\text{จำนวนพลังงานที่ขาดหายไปด้วยเหตุไฟฟ้าขัดข้อง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}}$$

$$= \frac{\Sigma L_{a(i)} U_i}{\Sigma N_i}$$

(5.13)

เมื่อ N คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่อ ณ จุดโหลด

i คือ จุดโหลดลำดับที่ i

$L_{a(i)}$ คือ โหลดเฉลี่ยที่ต่อจุดโหลด I

ACCI (Average Customer Curtailment Index) : ค่าเฉลี่ยดัชนีแสดงจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ลูกค้าต้องการจริงแต่ขาดหายไปในช่วงเวลาที่ไฟดับต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{ACCI} = \frac{\text{จำนวนพลังงานที่ขาดหายไปด้วยเหตุไฟฟ้าขัดข้อง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไฟฟ้าดับ}}$$

(5.14)

ดัชนีบางตัวไม่นิยมใช้เนื่องจากต้องทราบจำนวนผู้ใช้ที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดไฟฟ้าดับซึ่งเป็นค่าที่หาได้ยาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า และการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีวิธีหลักด้วยกัน 3 วิธี ได้แก่ 1) วิธีระบุเหตุขัดข้อง 2) วิธีดัชนีพื้นฐาน และ 3) วิธีดัชนีระบบ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับทั้ง 3 วิธี

6.1 ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า[1]

ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Damage Function : CDF) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายที่เกิดเนื่องจากไฟฟ้าดับของลูกค้าแต่ละรายเทียบกับระยะเวลาไฟดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะได้จากการสำรวจข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง วิธีการดังกล่าวจะมีการจัดทำและพัฒนาแบบสอบถาม เพื่อให้ผู้ให้ข้อมูลประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากไฟฟ้าดับ ดังนั้นความถูกต้องของการประเมินจึงขึ้นกับความคิดเห็นของผู้ให้ข้อมูลโดยตรง

เมื่อได้ข้อมูลแล้วจะนำมาจัดกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าให้อยู่ประเภทเดียวกัน เช่น บ้านอยู่อาศัย ธุรกิจบริการขนาดเล็ก ธุรกิจบริการขนาดใหญ่ อุตสาหกรรม เป็นต้น เพื่อคำนวณฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้แต่ละประเภท (Sector Customer Damage Function : SCDF) โดยอาจทำแบบจำลองเป็น 2 แบบ คือ มูลค่าความเสียหายต่อกำลังไฟฟ้าและมูลค่าความเสียหายต่อพลังงานไฟฟ้า

ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้แต่ละประเภทได้แบ่งออกไว้เป็น 6 ประเภทตามอัตราค่าใช้ไฟฟ้าตามที่การไฟฟ้าเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน ได้แก่

1. ประเภทบ้านที่อยู่อาศัย (Residential) ผู้ใช้ไฟประเภทนี้ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำรงชีวิตประจำวันภายในบ้าน มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างและเพื่ออุปกรณไฟฟ้าอำนวยความสะดวกต่างๆ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าแต่ละรายโดยเฉลี่ยไม่สูงมากนัก ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนี้มีค่าน้อยกว่าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอื่นๆ

2. ประเภทธุรกิจขนานเล็ก (Small general service) ผู้ใช้ไฟประเภทธุรกิจเป็นการใช้ไฟฟ้าในอาคาร เช่น ร้านขายของ อาคารพาณิชย์ ศูนย์การค้า โรงแรม เป็นต้น และภายในโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับผู้ใช้ไฟประเภทธุรกิจบริการขนาดเล็กกำหนดจากขนาดการใช้ไฟฟ้า คือ มีการใช้ไฟฟ้าจำกัดไม่เกิน 30 kW

3. ประเภทธุรกิจขนาดกลาง (Medium general service) คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 30 kW แต่ไม่เกิน 2,000 kW

4. ประเภทธุรกิจขนาดใหญ่ (Large general service) คือ ผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 2,000 kW

5. ประเภทธุรกิจเฉพาะอย่าง (Specific business) คือ ธุรกิจประเภทภัตตาคารและโรงแรม

6. ประเภทหน่วยงานราชการและองค์กรไม่แสวงหาผลกำไร (Government institutions and non-profit organizations)

โดยทั่วไปในแต่ละจุดโหลดประกอบด้วยผู้ใช้ไฟฟ้าหลายประเภท ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวม (Composite Customer Damage Function : CCDF) แต่ละจุดโหลด ซึ่งวิธีการคำนวณจะทำการถ่วงน้ำหนักฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ ณ จุดโหลดนั้นด้วยสัดส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หรือพลังไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท

6.2 การประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (IER Evaluation in Distribution Systems)[1,10]

การคำนวณจะนำค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับในแต่ละพื้นที่ มาใช้รวมกับดัชนีสากลเพื่อคำนวณอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ (Interrupted Energy Rate : IER) ผ่านวิธีการต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาสรุปได้เป็น 3 วิธี คือ

6.2.1 วิธีระบุเหตุขัดข้อง (Contingency Enumeration Method : CEM)

การประเมินค่าอัตราพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้าต้องใช้แบบจำลองความเสียหาย แบบจำลองโหลดและแบบจำลองระบบ โดยที่แบบจำลองความเสียหายนั้นนำมาจากฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวมในแต่ละจุดโหลด ส่วนแบบจำลองโหลดคำนวณจากโหลดเฉลี่ยที่ต่ออยู่แต่ละตำแหน่งโหลด สำหรับแบบจำลองระบบนั้น ต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ ทั้งหมดประกอบกันขึ้นเป็นระบบจ่ายไฟฟ้าที่พิจารณา

วิธีการคำนวณค่าประมาณพลังงานที่ไม่สามารถจ่ายได้ (EENS) ค่าความเสียหายทั้งหมด (ECOST) และค่าอัตราพลังงานค่าไฟฟ้าดับ (IER) ณ แต่ละจุดโหลด สามารถทำได้ตามวิธีการต่อไปนี้

6.2.1.1 คำนวณ EENS และ ECOST จากแต่ละเหตุการณ์ลำดับที่ j ที่เกิดขัดข้อง ณ จุดโหลด p ตามสมการ

$$ECOST_{j,p} = C_{j,p}\, L_{av,p}\, \lambda_j \qquad (6.1)$$

$$EENS_{j,p} = L_{av,p}\, U_{j,p} \qquad (6.2)$$

สมการที่ 6.1 เป็นสมการที่ใช้แบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟ (บาท/ kW) สำหรับวิทยานิพนท์ฉบับนี้จะแสดงการคำนวณโดยใช้แบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟ (บาท/ kW) ดังแสดง เนื่องจากฟังก์ชันความเสียหายที่สำรวจได้มีทั้ง 2 แบบ

จากสมการที่ 6.1 สามารถเปลี่ยนเป็นสมการที่ใช้กับแบบจำลองความเสียหายของผู้ใช้ไฟ (บาท/ kW) ดังนี้

$$ECOST_{j,p} = C_{j,p}\, L_{av,p}\, r_{j,p}\, \lambda_j \qquad (6.3)$$

เมื่อ $L_{av,p}$ คือ โหลดเฉลี่ยที่ต่อจุดโหลด p

$C_{j,p}$ คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากไฟฟ้าดับที่โหลด p คำนวณจาก CCDF (บาท/ kW หรือ บาท/ kWh)

$U_{j,p}$ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในหนึ่งปีที่ไม่สามารถจ่ายได้ของเหตุการณ์ j ที่จุด p

λ_j คือ อัตราการล้มเหลวเฉลี่ยของเหตุการณ์ j

$r_{j,p}$ คือ ระยะเวลาที่เกิดเหตุขัดข้องเฉลี่ยของเหตุการณ์ j ที่จุด p

6.2.1.2 คำนวณค่า EENS , ECOST และ IER ที่ ณ จุดโหลด P ตามสมการ

$$ECOST_P = \sum_{j=1}^{N} ECOST_{j,p} \qquad (\text{บาท/ yr}) \qquad (6.4)$$

$$EENS_P = \sum_{j=1}^{N} EENS_{j,p} \qquad (\text{kWh/ yr}) \qquad (6.5)$$

$$IER_p = \frac{ECOST_P}{EENS_p} \quad (\text{บาท/ kWh}) \tag{6.6}$$

เมื่อ N คือจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่ง p

6.2.2 วิธีดัชนีพื้นฐาน (Basic Indices Method : BIM)

วิธีการนี้จะไม่คำนึงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ณ จุดโหลดแต่ละแห่งหากแต่จะใช้ค่าดัชนีแต่ละค่า ณ จุดโหลดแทน สำหรับฟังก์ชันความเสียหายจะใช้ CCDF โดยพิจารณาจากค่าระยะเวลาไฟฟ้าดับเฉลี่ยที่ ณ จุดโหลด p (r_p) เพื่อนำไปคำนวณค่าความเสียหาย ณ จุดโหลด p (C_p) และนำค่าโหลดเฉลี่ย ณ จุดโหลด p ($L_{av,p}$) มาใช้ในการคำนวณค่า EENS , ECOST และ IER ตามสมการ

$$EENS_p = L_{av,p} * \lambda_p * r_p \tag{6.7}$$

$$ECOST_p = L_{av,p} * \lambda_p * C_p \tag{6.8}$$

$$IER_p = \frac{ECOST_P}{EENS_p} = \frac{C_p}{r_p} \quad (\text{บาท/ kWh}) \tag{6.9}$$

6.2.3 วิธีดัชนีระบบ (System Indices Method : SIM)

การคำนวณค่าอัตราพลังงานไฟฟ้าดับโดยใช้ดัชนีสากลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้ ได้แก่ค่า SAIFI และ CAIDI ร่วมกับฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวม (CCDF) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$\text{System EENS} = (\text{SAIFI})*(L_{av,bus})*(\text{CAIDI}) \tag{6.10}$$

$$\text{System ECOST} = (\text{SAIFI})*(L_{av,bus})*(\text{CAIDI cost}) \tag{6.11}$$

$$\text{System IER} = \frac{\text{CAIDIcost}}{\text{CAIDI}} \quad (\text{บาท/ kWh}) \tag{6.12}$$

เมื่อ CAIDIcost คือ มูลค่าความเสียหายของระบบโดยคำนวณจากฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวมกับค่า CAIDI หน่วยเป็น บาท/ kWh

จากทั้ง 3 วิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น วิธี BIM และ SIM เป็นวิธีการที่ใช้การประมาณเพื่อความรวดเร็วง่ายต่อการคำนวณแต่ผลที่ได้รับจะคลาดเคลื่อนไปจากวิธี CEM มาก ดังนั้นเพื่อความแม่นยำจึงควรเลือกใช้วิธี CEM ในการคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
การทดสอบ การคำนวณและการวิเคราะห์

จากหลักการและวิธีการต่างๆที่นำเสนอข้างต้นนั้นได้นำมาทดสอบกับระบบทดสอบ Roy Billinton Test System Bus 2 (RBTS Bus 2) [1,13] ซึ่งเป็นระบบที่ประกอบด้วย 4 สายป้อนหลัก 22 จุดโหลด อุปกรณ์ในระบบประกอบด้วย เซอร์กิตเบรคเกอร์ 4 ตัว สายเปลือย 36 เส้น สวิตซ์ตัดตอน(Disconnecting Switch) 10 ตัว ฟิวส์ 22 ตัว หม้อแปลง 20 เครื่อง Tie Switch 2 ตัว จากแนวคิดและวิธีต่างๆที่นำเสนอข้างต้นจะนำมาทดสอบกับระบบดังกล่าวรวม 6 วิธี ด้วยกันดังนี้

1) คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์(Analytical)
2) คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์(Analytical) โดยกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี
3) คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์(Analytical)โดยกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี
4) คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลา(Time Sequential Monte Carlo Simulation)
5) คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลา(Time Sequential Monte Carlo Simulation) โดยกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี
6) คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลา(Time Sequential Monte Carlo Simulation) โดยกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี

7.1 ระบบทดสอบ (RBTS)

7.1.1 ข้อมูลทางสถิติของอุปกรณ์และข้อมูลของผู้ใช้ไฟ

ตัวอย่างระบบที่ใช้ในการทดสอบสำหรับวิทยานิพนธ์ คือ ระบบทดสอบบัส 2 (RBTS BUS2)[1,13]

รายละเอียดของระบบทดสอบได้แสดงไว้ดังรูปที่ 7.1 สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับสถิติการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดนำแสดงไว้ดังตารางที่ 7.1 และ 7.2 ฟังก์ชั่นความเสียหายของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภทแสดงไว้ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.1 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์

ชนิดอุปกรณ์	λ (ครั้งต่อปี)	λ_a (ครั้งต่อปี)	r (ชั่วโมง)	Repl. (ชั่วโมง)	s (ชั่วโมง)
หม้อแปลง	0.015	0.015	200	10	1
สายเปลือย	0.065	0.065	5	-	1
สายเคเบิล	0.04	0.04	30	-	3
เบรคเกอร์	0.006	0.004	4	-	1
บัสบาร์	0.001	0.001	2	-	1

โดย λ_a คือ อัตราการล้มเหลวแบบแอคทีฟ (Active failure rate)

Repl. คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนอุปกรณ์ (Replacement time)

λ คือ อัตราการล้มเหลวรวม (Total failure rate)

r คือ ระยะเวลาในการซ่อมรวม (Repair time)

s คือ ระยะเวลาในการสวิตชิง (Switching time)

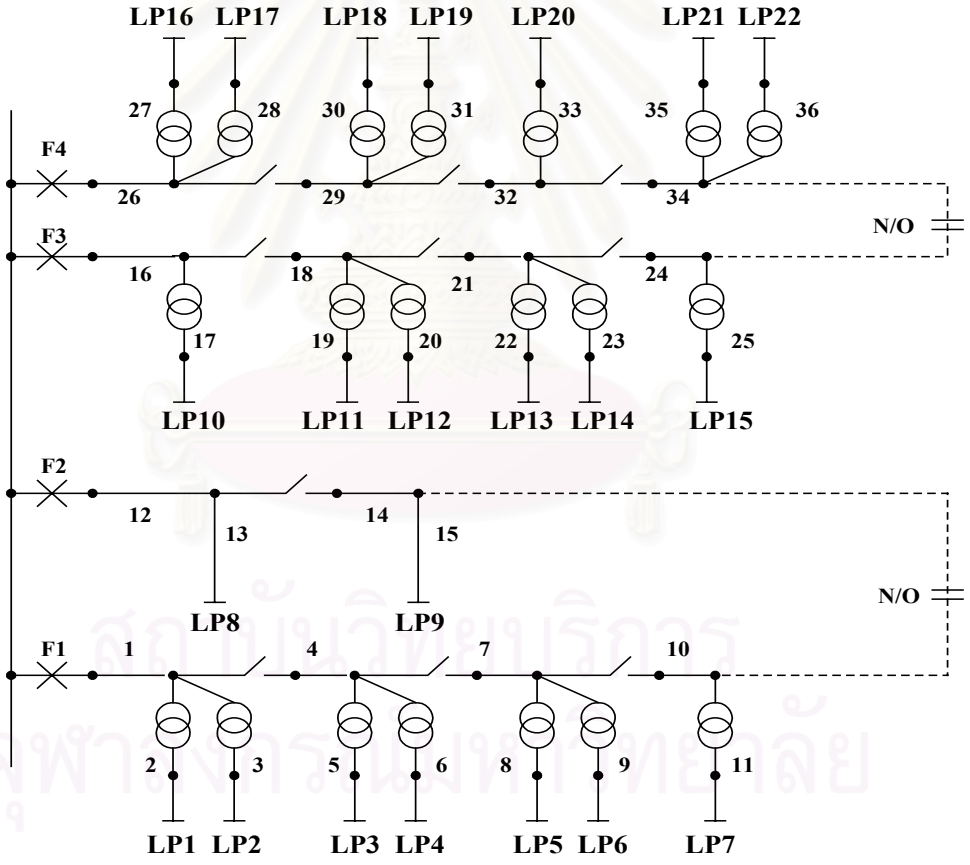
จากข้อมูลที่เป็นตัวเลขตัวเดียวในตารางที่ 7.1 นำมาเขียนแทนด้วยตัวเลขฟัซซีสามเหลี่ยม ได้ดังตารางที่ 7.2 เพื่อพิจารณาผลของความไม่แน่นอน โดยกำหนดให้ฐานของสามเหลี่ยมเบี่ยงเบนจากค่ากลาง 20 %

ตารางที่ 7.2 ค่าสถิติการทำงานของอุปกรณ์เมื่อเป็นฟัซซี

ชนิดอุปกรณ์	λ (ครั้งต่อปี)	λ_a (ครั้งต่อปี)	r (ชั่วโมง)	Repl. (ชั่วโมง)	s (ชั่วโมง)
หม้อแปลง	(0.012;0.015;0.018)	(0.012;0.015;0.018)	(160;200;240)	(8;10;12)	(0.8;1;1.2)
สายเปลือย	(0.052;0.065;0.078)	(0.052;0.065;0.078)	(4;5;6)	-	(0.8;1;1.2)
สายเคเบิล	(0.032;0.04;0.048)	(0.032;0.04;0.048)	(24;30;36)	-	(2.4;3;3.6)
เบรคเกอร์	(0.0048;0.006;0.0072)	(0.0032;0.004;0.0048)	(3.2;4;4.8)	-	(0.8;1;1.2)
บัสบาร์	(0.00008;0.001;0.0012)	(0.00008;0.001;0.0012)	(1.6;2;2.4)	-	(0.8;1;1.2)

ตารางที่ 7.3 ฟังก์ชั่นความเสียหายของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท (บาท/kW เฉลี่ย)

ประเภทผู้ใช้	ระยะเวลาไฟฟ้าดับ (นาที)						
	5	10	30	60	120	240	480
บ้านที่อยู่อาศัย	0.88	2.07	9.74	35.30	111.40	327.16	836.24
ธุรกิจบริการ	28.10	39.08	125.87	203.00	338.98	594.84	1095.68
อุตสาหกรรมขนาดกลาง	23.53	29.63	80.98	103.24	149.90	228.68	382.08
อุตสาหกรรมขนาดใหญ่	19.88	22.62	42.73	59.16	73.92	101.44	142.72
หน่วยงานราชการ	7.37	10.47	26.31	51.12	93.72	174.32	334.32

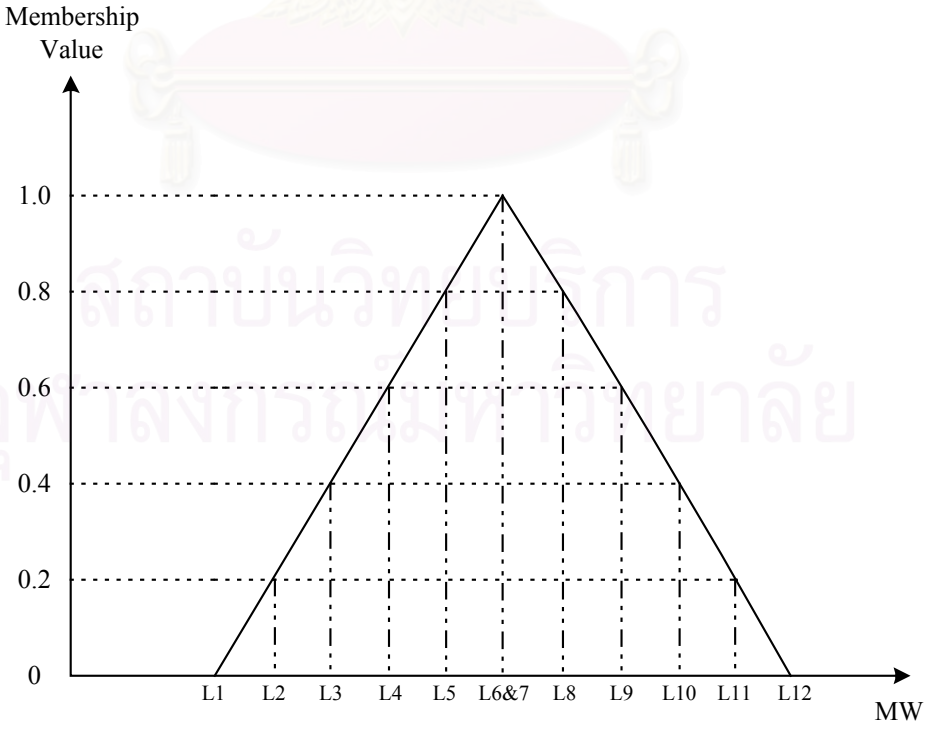


รูปที่ 7.1 ระบบทดสอบ บัส 2

ตารางที่ 7.4 ประเภท จำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบ บัส 2

ตำแหน่งโหลด	ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	โหลดเฉลี่ย (MW)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า
1-3,10,11	บ้านที่อยู่อาศัย	0.535	210
12,17-19	บ้านที่อยู่อาศัย	0.45	200
8	อุตสาหกรรมขนาดกลาง	1	1
9	อุตสาหกรรมขนาดกลาง	1.15	1
4,5,13,14	หน่วยงานราชการ	0.566	1
20,21	หน่วยงานราชการ	0.566	1
6,7,15	ธุรกิจบริการ	0.454	10
16,22	ธุรกิจบริการ	0.454	10
รวม		12.291	1908

จากข้อมูลที่เป็นตัวเลขตัวเดียวในตารางที่ 7.4 นำมาเขียนแทนด้วยตัวเลขฟัซซีสามเหลี่ยม ได้ดังตารางที่ 7.5 เพื่อพิจารณาผลของความไม่แน่นอน โดยกำหนดให้ฐานของสามเหลี่ยมเบี่ยงเบนจากค่ากลาง 20 % ในการทดสอบได้แบ่งโหลดเป็น 6 α-cut คือ α-cut ที่ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0



รูปที่ 7.2 ฟัซซีโหลด

จากรูปที่ 7.2 L1 ถึง L12 คือ ระดับโหลดที่ 1 ถึง 12 ที่จะใช้ในการทดสอบ เพื่อพิจารณาผลที่เกิดจากความไม่แน่นอนของโหลด

ตารางที่ 7.5 ประเภท จำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟแต่ละจุดโหลดของระบบทดสอบ บัส 2 เมื่อกำหนดให้เป็นฟัซซี

ตำแหน่งโหลด	ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	โหลดเฉลี่ย (MW)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้า
1-3,10,11	บ้านที่อยู่อาศัย	(0.428;0.535;0.642)	210
12,17-19	บ้านที่อยู่อาศัย	(0.36;0.45;0.54)	200
8	อุตสาหกรรมขนาดกลาง	(0.8;1;1.2)	1
9	อุตสาหกรรมขนาดกลาง	(0.92;1.15;1.725)	1
4,5,13,14	หน่วยงานราชการ	(0.4528;0.566;0.6792)	1
20,21	หน่วยงานราชการ	(0.4528;0.566;0.6792)	1
6,7,15	ธุรกิจบริการ	(0.3632;0.454;0.5448)	10
16,22	ธุรกิจบริการ	(0.3632;0.454;0.5448)	10
รวม		(9.8328;12.291;14.7492)	1908

ตารางที่ 7.6 ข้อมูลความยาวสายป้อนของระบบทดสอบ บัส 2

ลำดับที่	ความยาว (กิโลเมตร)	เลขที่สายป้อน
1	0.6	2,6,10,14,17,21,25,28,30,34
2	0.75	1,4,7,9,12,16,22,24,27,29,32,35
3	0.8	3,5,8,11,13,15,18,20,23,26,31,33,36

7.2 ผลการทดสอบ

จากข้อมูลประเภท จำนวนและขนาดโหลดของผู้ใช้ไฟแต่ละจุดโหลดแสดงในตารางที่ 7.5 และข้อมูลความยาวสายป้อนของระบบทดสอบบัส 2 ดังแสดงในตารางที่ 7.6 นั้นในการทดสอบกรณีที่หม้อแปลงเสีย จะใช้วิธีการเปลี่ยนหม้อแปลง เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบ

การทดสอบสามารถคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟ ซึ่งแบ่งเป็น 6 กรณี ดังนี้

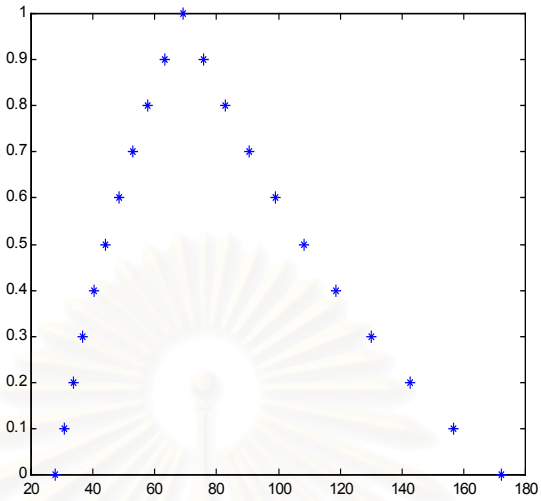
- คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีของผู้ใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7.7
- คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟด้วยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical) ซึ่งกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7.8
- คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟด้วยวิธีวิเคราะห์ (Analytical) ซึ่งกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี โหลดที่พิจารณาได้แก่ จุดโหลดที่ 1, 4, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 16,19 และ 22 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7.9 ถึง 7.14 ตารางที่ ก.1 ถึง ก.60ในภาคผนวก และรูปที่ 7.4 ถึง 7.18
- คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติคาร์โล (Time Sequential Monte Carlo Simulation) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7.15
- คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติคาร์โล (Time Sequential Monte Carlo Simulation) โดยให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซีได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7.16
- คำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ที่แต่ละจุดโหลดและดัชนีที่อ้างอิงผู้ใช้ไฟด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติคาร์โล (Time Sequential Monte Carlo Simulation) โดยให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี ซึ่งโหลดที่พิจารณาได้แก่ จุดโหลดที่ 1 และ 16ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7. 17 ถึง 7.22 และตารางที่ ก.61 ถึง ก.66 ในภาคผนวก และรูปที่ 7.19 ถึง 7.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.7 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐาน		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.031300	0.725250
2	0.252250	3.132800	0.790250
3	0.252250	3.132800	0.790250
4	0.239250	3.031300	0.725250
5	0.252250	3.132800	0.790250
6	0.249000	3.108400	0.774000
7	0.252250	2.978200	0.751250
8	0.139750	3.883700	0.542750
9	0.139750	3.604700	0.503750
10	0.242500	3.004100	0.728500
11	0.252250	3.132800	0.790250
12	0.255500	3.156600	0.806500
13	0.252250	2.926700	0.738250
14	0.255500	2.953000	0.754500
15	0.242500	3.004100	0.728500
16	0.252250	3.132800	0.790250
17	0.242500	3.057700	0.741500
18	0.242500	3.004100	0.728500
19	0.255500	3.105700	0.793500
20	0.255500	3.105700	0.793500
21	0.252250	2.926700	0.738250
22	0.255500	2.953000	0.754500
SAIFI	0.248211	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.765575	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.084371	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999913		
ASUI	0.000087		
ENS	8843.83	kWh/ปี	
AENS	4.635	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	68.55	บาท/kWh	
IER(SIM)	68.62	บาท/kWh	
IER(CEM)	69.38	บาท/kWh	

เมื่อใช้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซีในการทดสอบ ผลที่ได้จะได้เป็นตัวเลขฟัซซี ดังตัวอย่างในรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี

และนำผลที่ได้ มาเปลี่ยนเป็นตัวเลขธรรมดา โดยการทำ Defuzzification ด้วยวิธีจุดศูนย์กลางของพื้นที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.8 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐาน		
	λ	r	U
	ครั้งต่อปี	ชั่วโมง	ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.093585	0.727691
2	0.252250	3.197125	0.792910
3	0.252250	3.197125	0.792910
4	0.239250	3.093585	0.727691
5	0.252250	3.197125	0.792910
6	0.249000	3.172254	0.776605
7	0.252250	3.039342	0.753779
8	0.139750	3.963459	0.544577
9	0.139750	3.678659	0.505446
10	0.242500	3.065802	0.730952
11	0.252250	3.197125	0.792910
12	0.255500	3.221364	0.809215
13	0.252250	2.986748	0.740735
14	0.255500	3.013663	0.757040
15	0.242500	3.065802	0.730952
16	0.252250	3.197125	0.792910
17	0.242500	3.120511	0.743996
18	0.242500	3.065802	0.730952
19	0.255500	3.169439	0.796171
20	0.255500	3.169439	0.796171
21	0.252250	2.986748	0.740735
22	0.255500	3.013663	0.757040
SAIFI	0.248211	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.768152	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.147697	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999912		
ASUI	0.000088		
ENS	8873.60	kWh/ปี	
AENS	4.651	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	74.08	บาท/kWh	
IER(SIM)	74.18	บาท/kWh	
IER(CEM)	70.82	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.9 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	0.252250	3.038728	0.753754	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.258048	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.939937	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.704179	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999887		
ASUI	0.000107			0.000113		
ENS	21375.27	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	11.20	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	67.84	บาท/kWh		65.39	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.64	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.73	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.10 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.39	บาท/kWh		65.39	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.11 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.39	บาท/kWh		65.39	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.12 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

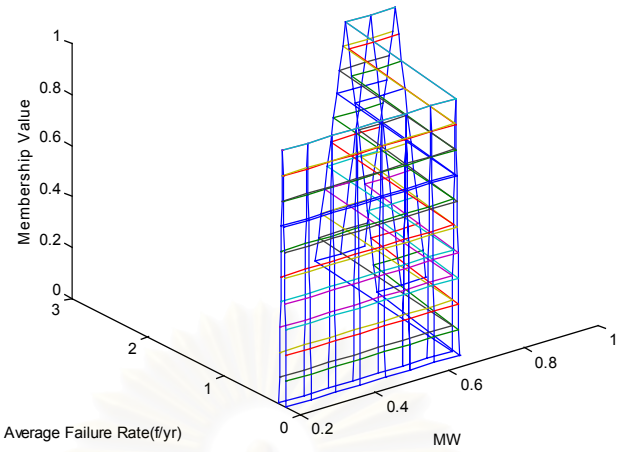
ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.39	บาท/kWh		65.39	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.13 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

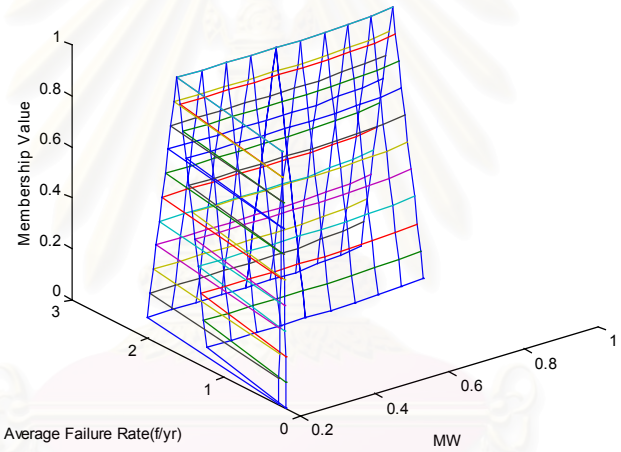
ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	2.015750	5.592110	11.084572
6	0.249000	4.769712	1.167880	2.012500	5.592902	11.068268
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.991750	5.416674	10.608992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.277332	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.048667	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.845312	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999880		
ASUI	0.000113			0.000120		
ENS	25712.90	kWh/ปี		35947.95	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		18.84	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.39	บาท/kWh		65.41	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.19	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.21	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.14 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

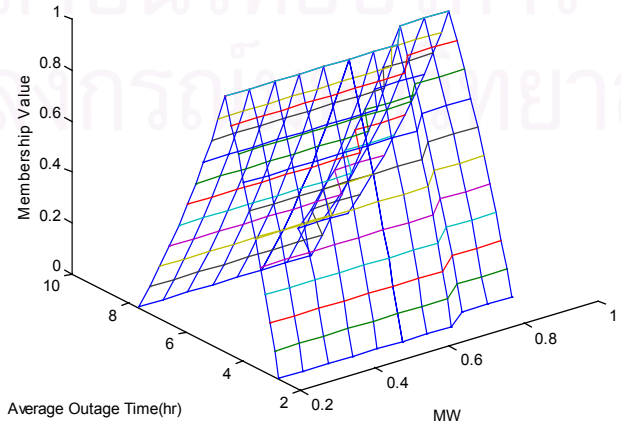
ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	2.015750	5.592110	11.084572	2.015750	5.592110	11.084572
6	2.012500	5.592902	11.068268	2.012500	5.592902	11.068268
7	2.006750	5.452453	10.759492	2.051750	5.556650	11.210992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.277410	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.277646	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.049456	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.051822	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.847114	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.852513	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999880			0.999880		
ASUI	0.000120			0.000120		
ENS	36016.27	kWh/ปี		36221.25	kWh/ปี	
AENS	18.88	kWh/ผู้ใช้-ปี		18.98	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.43	บาท/kWh		65.47	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.19	บาท/kWh		70.19	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.20	บาท/kWh		71.18	บาท/kWh	



รูปที่ 7.4 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1 และ 4

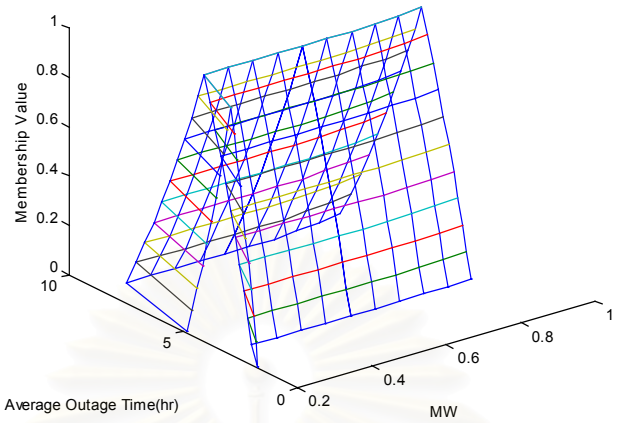


รูปที่ 7.5 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1

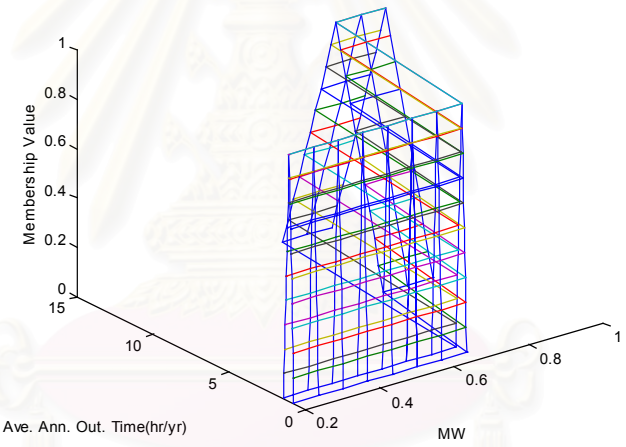


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.6 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1 และ 4

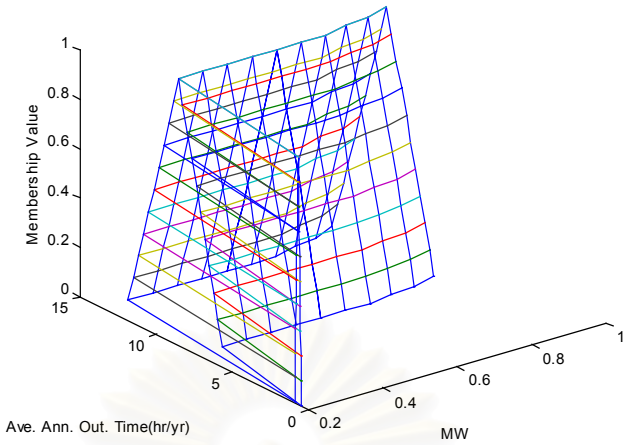


รูปที่ 7.7 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1

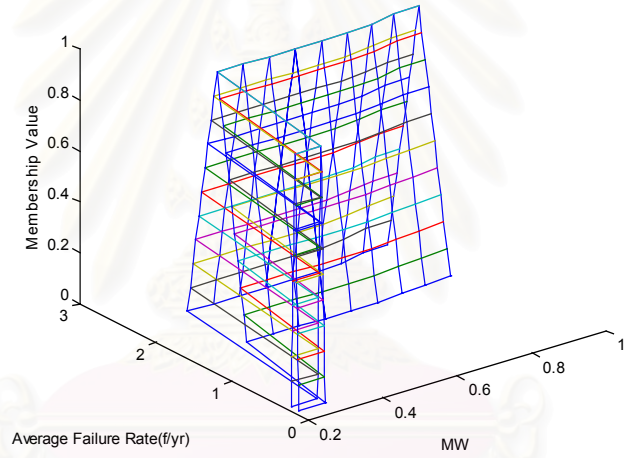


รูปที่ 7.8 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1 และ จุดโหลด 4

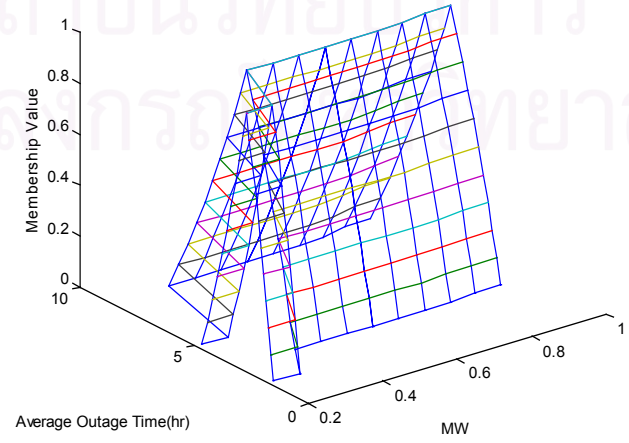
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



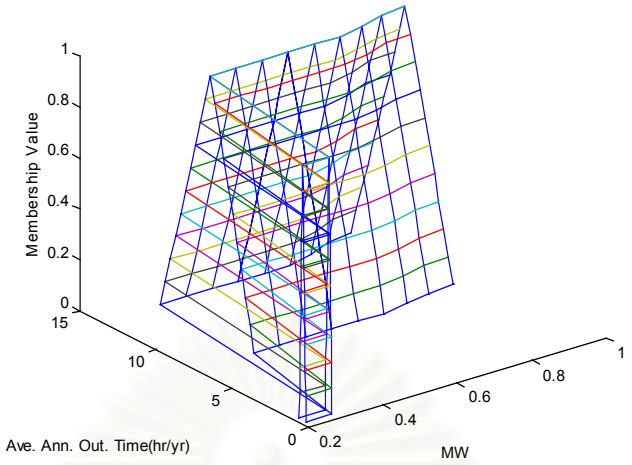
รูปที่ 7.9 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1



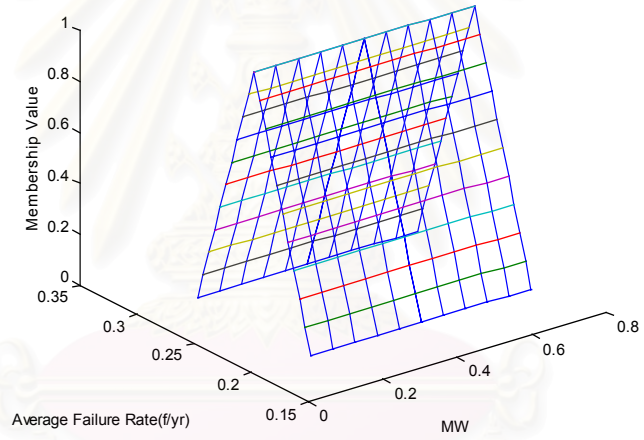
รูปที่ 7.10 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 4



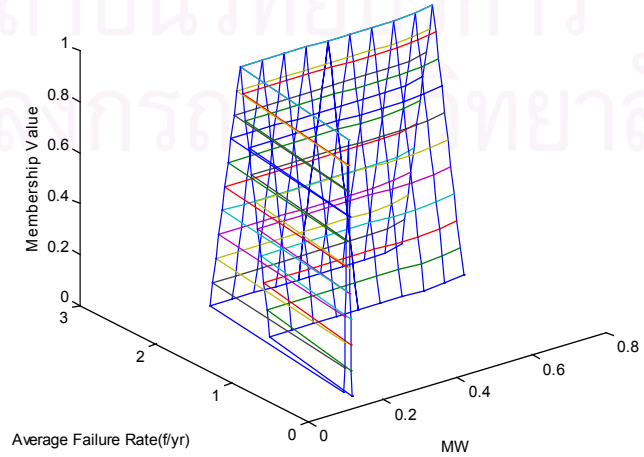
รูปที่ 7.11 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 4



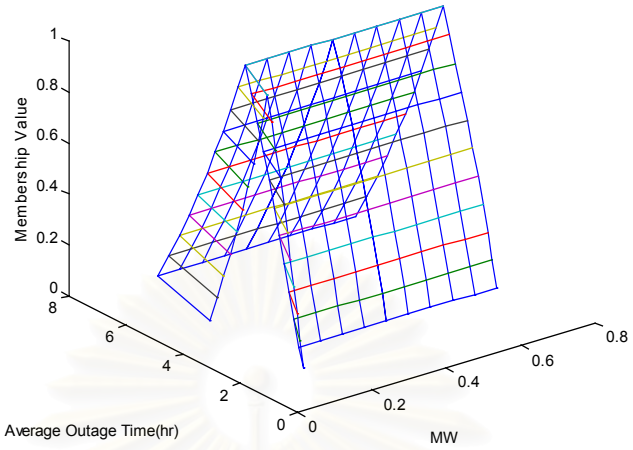
รูปที่ 7.12 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 4



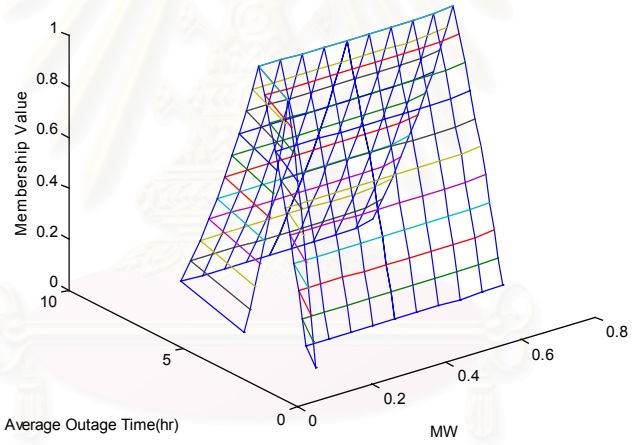
รูปที่ 7.13 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7



รูปที่ 7.14 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7

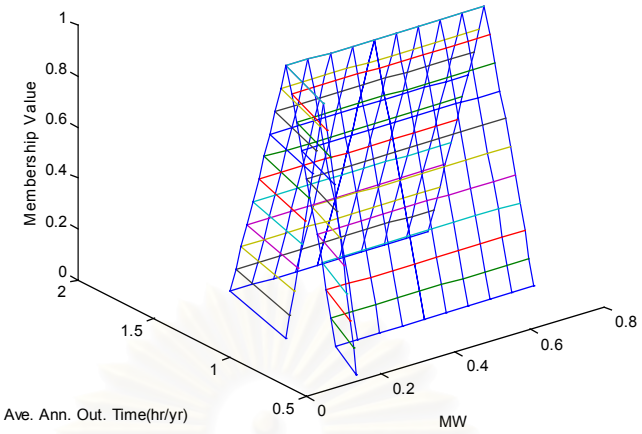


รูปที่ 7.15 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7

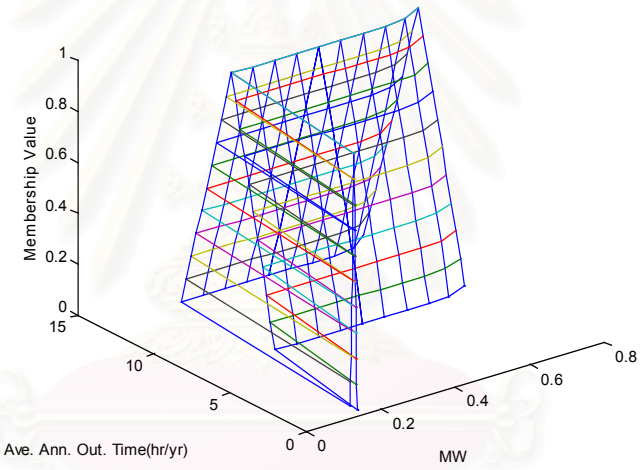


รูปที่ 7.16 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.17 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7



รูปที่ 7.18 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลดที่ 7 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 7.15 ผลการคำนวณด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐาน		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.235805	3.108054	0.744983
2	0.254471	3.256960	0.843849
3	0.250006	3.120815	0.792559
4	0.236761	3.188441	0.760468
5	0.252442	3.204803	0.783035
6	0.250818	3.184024	0.772207
7	0.256093	3.116229	0.770284
8	0.137737	4.022148	0.553964
9	0.140171	3.718761	0.521231
10	0.244239	2.852218	0.696568
11	0.263718	3.196048	0.812773
12	0.256412	2.978977	0.793780
13	0.253976	2.714889	0.729462
14	0.262700	2.801645	0.735931
15	0.248703	2.979872	0.741041
16	0.257429	3.324872	0.805836
17	0.245256	3.191712	0.752716
18	0.252965	3.229897	0.726976
19	0.258645	3.124929	0.808173
20	0.261079	3.080990	0.804309
21	0.253571	2.846473	0.721724
22	0.257832	2.854537	0.735928
SAIFI	0.251202	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.774238	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.082135	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999912		
ASUI	0.000088		
ENS	8925.115	kWh/ปี	
AENS	4.678	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	68.48	บาท/kWh	
IER(SIM)	68.63	บาท/kWh	
IER(CEM)	67.13	บาท/kWh	

ตาราง 7.16 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลเมื่อให้ข้อมูลอุปกรณ์เป็นฟัซซี

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐาน		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239124	3.080980	0.732236
2	0.261278	3.119495	0.814980
3	0.255028	2.987144	0.736675
4	0.243667	2.872928	0.699982
5	0.273209	3.134750	0.854598
6	0.254461	2.999852	0.763278
7	0.262413	2.957838	0.776106
8	0.132340	4.266589	0.567533
9	0.141426	3.538715	0.500437
10	0.238555	2.968585	0.708115
11	0.253325	3.043649	0.770964
12	0.255596	2.956040	0.755488
13	0.248776	2.785204	0.693341
14	0.251617	2.813032	0.712276
15	0.251621	3.032649	0.763011
16	0.254463	3.276344	0.833628
17	0.232874	3.046997	0.702942
18	0.234009	3.296137	0.770876
19	0.250482	3.232752	0.884453
20	0.267529	3.047385	0.822180
21	0.260142	3.060037	0.794801
22	0.255597	3.064362	0.783173
SAIFI	0.246925	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.764053	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.094276	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999913		
ASUI	0.000087		
ENS	8927.41	kWh/ปี	
AENS	4.679	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	68.60	บาท/kWh	
IER(SIM)	68.57	บาท/kWh	
IER(CEM)	67.02	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.17 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.233068	3.359566	0.782938	0.242434	3.120137	0.755420
2	0.251623	3.366270	0.846949	0.271579	3.149690	0.855305
3	0.251050	4.316535	1.083532	0.265758	4.044497	1.074724
4	0.243511	4.166894	1.014566	0.244189	3.693458	0.901809
5	0.252202	4.599408	1.160012	0.260503	4.589343	1.196872
6	0.253943	4.456471	1.132895	0.262254	4.800102	1.250089
7	0.238864	2.932355	0.700377	1.957320	5.174795	10.117033
8	0.135662	3.691020	0.500704	0.140448	4.106834	0.587321
9	0.145521	4.684929	0.681703	0.136369	4.920663	0.670976
10	0.242345	3.207348	0.777214	0.241854	3.109501	0.751980
11	0.258005	3.925565	1.012699	0.251767	3.737843	0.940963
12	0.259748	4.095789	1.060301	0.257597	4.001106	1.030552
13	0.252211	4.507123	1.136598	0.243610	4.304964	1.048608
14	0.257432	4.772422	1.228401	0.259348	4.307044	1.116881
15	0.233662	5.637297	1.317026	0.235877	5.298941	1.247898
16	0.244057	3.083279	0.759498	0.258756	3.114602	0.805848
17	0.230168	3.096466	0.712648	0.248265	3.103268	0.770365
18	0.233070	3.862371	0.901883	0.244187	3.697304	0.902947
19	0.256844	3.760509	0.965759	0.251765	3.801329	0.958596
20	0.242934	4.566780	1.109283	0.259348	4.346382	1.127082
21	1.930578	5.716270	11.021823	1.961504	5.389965	10.559690
22	1.930593	5.751364	11.089489	1.966760	5.388480	10.585042
SAIFI	0.255774	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.271536	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.965233	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.000641	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.773775	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.685117	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999890			0.999886		
ASUI	0.000110			0.000114		
ENS	21577.49	kWh/ปี		25276.41	kWh/ปี	
AENS	11.31	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.25	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.54	บาท/kWh		65.54	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.45	บาท/kWh		66.78	บาท/kWh	
IER(CEM)	64.45	บาท/kWh		64.19	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.18 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.240434	3.039628	0.731561	0.242650	3.108278	0.753235
2	0.251579	3.202564	0.806276	0.271553	3.139131	0.853779
3	0.263358	4.066429	1.070967	0.265836	4.059222	1.079377
4	0.241189	3.601268	0.869263	0.244207	3.694015	0.903582
5	0.268503	4.372276	1.174538	0.260376	4.577170	1.192923
6	0.257225	4.794183	1.232928	0.262142	4.799690	1.257517
7	2.057320	5.073732	10.437912	1.957409	5.163512	10.105811
8	0.140245	4.168280	0.584285	0.140258	4.093341	0.574051
9	0.137994	4.971437	0.684553	0.136525	4.918052	0.671108
10	0.243785	3.278744	0.799075	0.241968	3.119036	0.753863
11	0.250492	3.796971	0.951229	0.251603	3.739129	0.941273
12	0.249997	3.936746	0.984490	0.257544	4.007671	1.033640
13	0.249436	4.342998	1.084743	0.243372	4.293286	1.044321
14	0.259000	4.206132	1.089037	0.258908	4.302438	1.113087
15	0.240123	5.296990	1.272552	0.236074	5.296317	1.250078
16	0.251002	3.109780	0.781360	0.258652	3.102470	0.803124
17	0.250301	3.103272	0.777693	0.248330	3.090074	0.766505
18	0.244187	3.665518	0.894080	0.244234	3.706616	0.904080
19	0.254918	3.910829	0.997153	0.251769	3.801441	0.956966
20	0.252411	4.658983	1.150011	0.259147	4.339931	1.124616
21	1.967744	5.432783	10.689319	1.961315	5.398022	10.587705
22	1.960311	5.478044	10.737928	1.966685	5.390796	10.601403
SAIFI	0.269121	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.271566	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.000025	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.000917	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.715894	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.685728	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999886			0.999886		
ASUI	0.000114			0.000114		
ENS	25541.949	kWh/ปี		25278.508	kWh/ปี	
AENS	13.39	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.25	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.49	บาท/kWh		65.55	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.66	บาท/kWh		66.78	บาท/kWh	
IER(CEM)	64.02	บาท/kWh		64.18	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.19 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.242419	3.119968	0.757339	0.242323	3.127440	0.757202
2	0.271536	3.149678	0.857806	0.271632	3.155417	0.855659
3	0.265750	4.040755	1.072735	0.265776	4.056288	1.079115
4	0.244343	3.699407	0.904444	0.244503	3.696402	0.903836
5	0.260442	4.585383	1.194202	0.260456	4.583286	1.192762
6	0.262119	4.775142	1.250496	0.262630	4.798758	1.260183
7	1.957367	5.159360	10.103034	1.957576	5.152754	10.084298
8	0.140358	4.110480	0.576422	0.140117	4.111094	0.577445
9	0.136373	4.901814	0.665654	0.136083	4.921716	0.668488
10	0.241791	3.104293	0.754131	0.241756	3.104181	0.749561
11	0.251821	3.723722	0.938361	0.251735	3.731951	0.941205
12	0.257652	3.983488	1.024117	0.257599	3.991380	1.026992
13	0.243590	4.289647	1.046154	0.243752	4.304534	1.048703
14	0.259143	4.301019	1.117117	0.259225	4.310458	1.116721
15	0.235890	5.301546	1.248791	0.235754	5.295968	1.250653
16	0.258915	3.112860	0.806237	0.258722	3.110103	0.804757
17	0.248367	3.119230	0.774435	0.248262	3.102944	0.768936
18	0.244029	3.693623	0.899024	0.244234	3.695731	0.901163
19	0.251757	3.778566	0.953648	0.251945	3.792714	0.957811
20	0.259280	4.346528	1.126936	0.259454	4.358015	1.133222
21	1.961402	5.391036	10.575058	1.961206	5.393933	10.580742
22	1.966637	5.393228	10.605087	1.966879	5.400008	10.619528
SAIFI	0.271526	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.271544	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.999720	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.000405	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.681855	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.684142	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999886			0.999886		
ASUI	0.000114			0.000114		
ENS	25266.242	kWh/ปี		25282.903	kWh/ปี	
AENS	13.24	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.25	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.55	บาท/kWh		65.54	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.79	บาท/kWh		66.78	บาท/kWh	
IER(CEM)	64.21	บาท/kWh		64.18	บาท/kWh	

ตารางที่ 7.20 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.242389	3.117590	0.757072	0.242199	3.117776	0.754920
2	0.271537	3.145680	0.854871	0.271349	3.148935	0.852947
3	0.265823	4.043755	1.076440	0.265726	4.040911	1.072648
4	0.244069	3.689242	0.901881	0.243896	3.672682	0.894937
5	0.260298	4.589057	1.193521	0.260214	4.587908	1.194203
6	0.262160	4.801219	1.256152	0.261540	4.814035	1.258478
7	1.957547	5.180288	10.142626	1.957069	5.181313	10.141722
8	0.140946	4.107553	0.579374	0.140525	4.103063	0.576724
9	0.136417	4.918495	0.670989	0.136314	4.914049	0.667990
10	0.241798	3.116038	0.753005	0.241804	3.111991	0.752037
11	0.251914	3.741144	0.940759	0.251732	3.734008	0.939317
12	0.257495	4.002029	1.030744	0.257648	3.995821	1.029617
13	0.244001	4.307651	1.049560	0.243460	4.305518	1.047999
14	0.259580	4.305012	1.116574	0.259136	4.319582	1.119082
15	0.235619	5.302366	1.249110	0.236029	5.273741	1.244025
16	0.258615	3.115676	0.806593	0.258630	3.120451	0.806977
17	0.248547	3.105768	0.772341	0.248334	3.093187	0.766699
18	0.244268	3.693115	0.900632	0.243899	3.706747	0.904685
19	0.251848	3.807472	0.960532	0.251721	3.777089	0.949450
20	0.258989	4.348120	1.126153	0.259571	4.344144	1.126954
21	1.961552	5.382296	10.559711	1.961237	5.390546	10.571991
22	1.966904	5.390360	10.600990	1.966802	5.384234	10.589968
SAIFI	0.271579	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.271444	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.001495	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.998844	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.687676	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.679739	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999886			0.999886		
ASUI	0.000114			0.000114		
ENS	25291.78	kWh/ปี		25271.88	kWh/ปี	
AENS	13.26	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.25	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.53	บาท/kWh		65.55	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.77	บาท/kWh		66.80	บาท/kWh	
IER(CEM)	64.19	บาท/kWh		64.25	บาท/kWh	

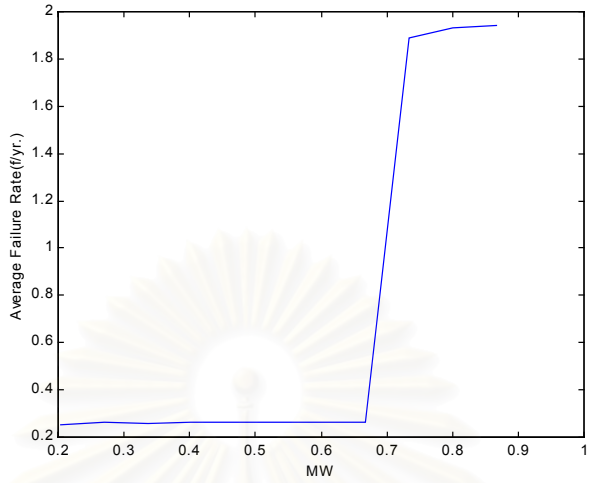
ตารางที่ 7.21 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.242434	2.891445	0.709773	0.244416	2.827873	0.691124
2	0.271579	3.149690	0.855305	0.243843	3.017863	0.735822
3	0.265758	4.044497	1.074724	0.247301	4.034691	0.997668
4	0.244189	3.693458	0.901809	0.240396	3.656251	0.878859
5	0.260503	4.940960	1.277902	1.926445	5.484200	10.552281
6	0.262254	4.811045	1.251101	1.930479	5.482973	10.571991
7	1.957320	5.174795	10.117033	1.930438	5.386077	10.385162
8	0.140448	4.064913	0.570008	0.137987	3.889371	0.536886
9	0.136369	4.920663	0.670976	0.134572	5.034119	0.677981
10	0.241854	3.109501	0.751980	0.239241	3.029750	0.724782
11	0.251767	3.737843	0.940963	0.243847	3.704972	0.903354
12	0.257597	4.001106	1.030552	0.246152	4.275836	1.052378
13	0.243610	4.304964	1.048608	0.258234	4.656700	1.202352
14	0.259348	4.307044	1.116881	0.259959	4.648624	1.208287
15	0.238557	5.298345	1.263478	0.233503	5.109037	1.192812
16	0.258756	3.114602	0.805848	0.255348	3.361343	0.858229
17	0.248265	3.103268	0.770365	0.239242	3.187791	0.762588
18	0.244187	3.873204	0.945561	0.242125	4.126108	0.998918
19	0.251765	3.899761	0.984833	0.251903	4.187732	1.054776
20	0.259348	4.346382	1.127082	0.255935	4.908642	1.256112
21	1.961504	5.389965	10.559690	1.920168	5.637554	10.811693
22	1.966760	5.388480	10.585042	1.914974	5.623603	10.755832
SAIFI	0.271550	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.272113	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.002954	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.041049	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.693446	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.825797	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999886			0.999881		
ASUI	0.000114			0.000119		
ENS	25319.05	kWh/ปี		35071.71	kWh/ปี	
AENS	13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี		18.38	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.51	บาท/kWh		65.11	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.75	บาท/kWh		66.26	บาท/kWh	
IER(CEM)	64.12	บาท/kWh		64.01	บาท/kWh	

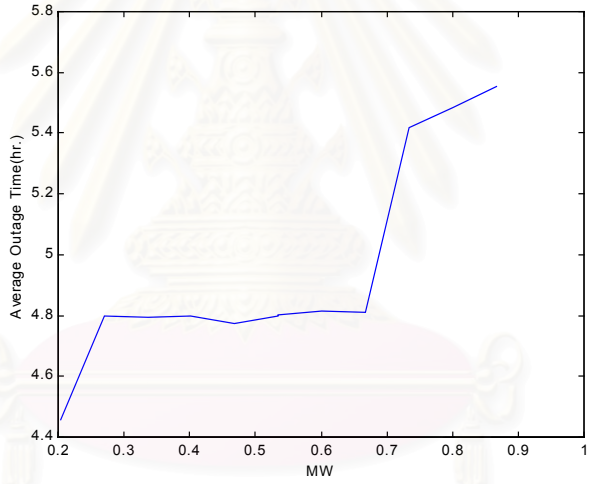
ตารางที่ 7.22 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 1

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.246890	3.243112	0.780061	0.236040	3.213029	0.758475
2	0.262507	3.242377	0.850814	0.254750	3.072075	0.782773
3	0.253432	4.001363	1.014098	0.259277	4.123238	1.068992
4	0.231487	4.007076	0.927644	0.246285	3.891055	0.958394
5	1.937377	5.533837	10.720899	1.890895	5.371001	10.156124
6	1.941991	5.552330	10.782813	1.891480	5.417392	10.246729
7	1.955212	5.502360	10.758518	1.956603	5.452177	10.667602
8	0.131536	4.059777	0.533999	0.140080	3.841163	0.538127
9	0.128092	5.316900	0.681118	0.141777	4.918898	0.697347
10	0.259633	3.086714	0.801448	0.248704	3.153353	0.784321
11	0.262511	3.738572	0.981379	0.255885	3.870267	0.990425
12	0.253765	3.960808	1.005260	0.262665	3.923714	1.030694
13	0.270559	4.455131	1.205258	0.251938	4.804142	1.210475
14	0.275156	4.532510	1.247584	0.261542	4.755072	1.243718
15	0.250455	4.900716	1.227382	0.246292	5.428516	1.337119
16	0.259976	3.199517	0.831820	0.249624	3.169391	0.791036
17	0.251359	3.187511	0.801423	0.236107	2.896450	0.683870
18	0.242513	4.056995	0.983886	0.243683	3.888692	0.947592
19	0.251131	4.120673	1.034810	0.245715	3.966994	0.974590
20	0.269412	4.689151	1.263147	0.252499	4.381682	1.106396
21	1.920759	5.720789	10.988316	1.890415	5.581951	10.552098
22	1.917874	5.706003	10.943128	1.893823	5.607408	10.619580
SAIFI	0.281919	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.277291	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.082202	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.057455	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.838692	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.813525	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999876			0.999879		
ASUI	0.000124			0.000121		
ENS	35866.40	kWh/ปี		35171.78	kWh/ปี	
AENS	18.80	kWh/ผู้ใช้-ปี		18.43	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.00	บาท/kWh		65.15	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.21	บาท/kWh		66.30	บาท/kWh	
IER(CEM)	64.00	บาท/kWh		64.06	บาท/kWh	

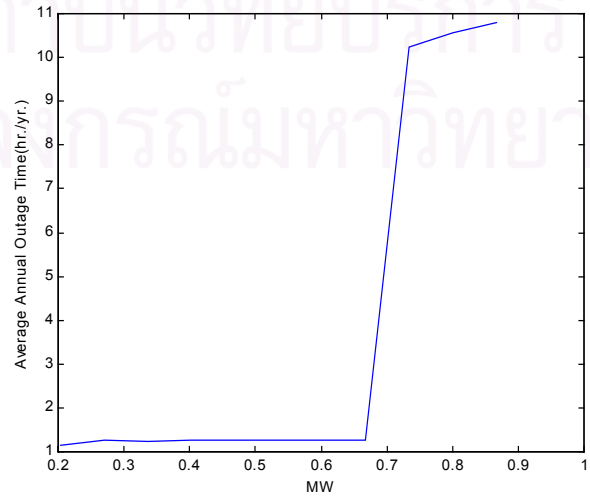
จากผลที่ได้จากการทดสอบในตารางที่ 7.17 ถึง 7.22 นำมาสร้างกราฟระหว่าง ขนาดของโหลด (MW) และ ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ ได้ดังนี้



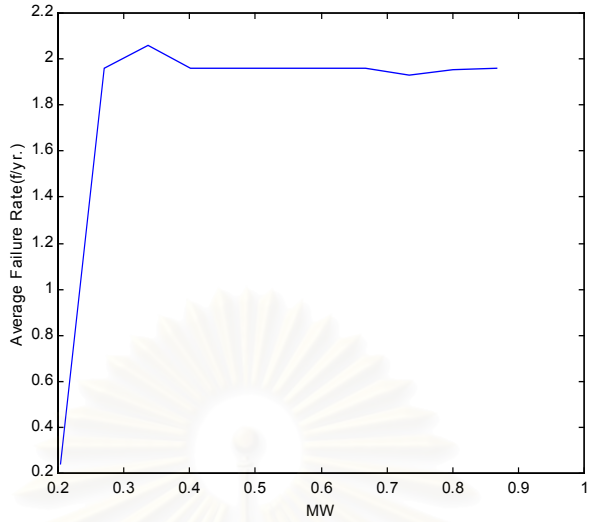
รูปที่ 7.19 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลดที่ 6 เมื่อทำการเปลี่ยนค่าโหลด จุดโหลด 1



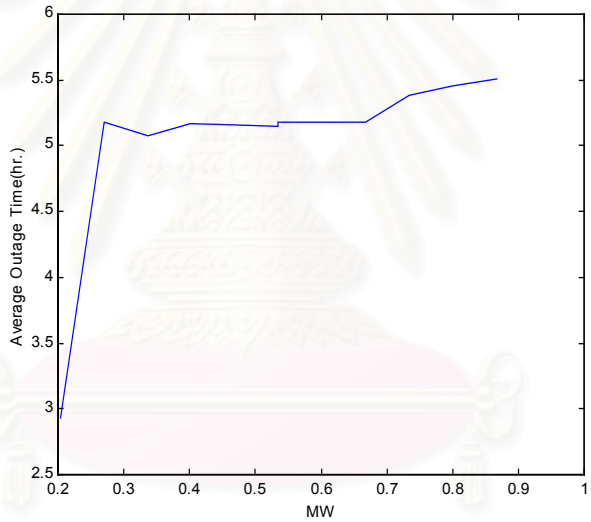
รูปที่ 7.20 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลด 6 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1



รูปที่ 7.21 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลด 6 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1

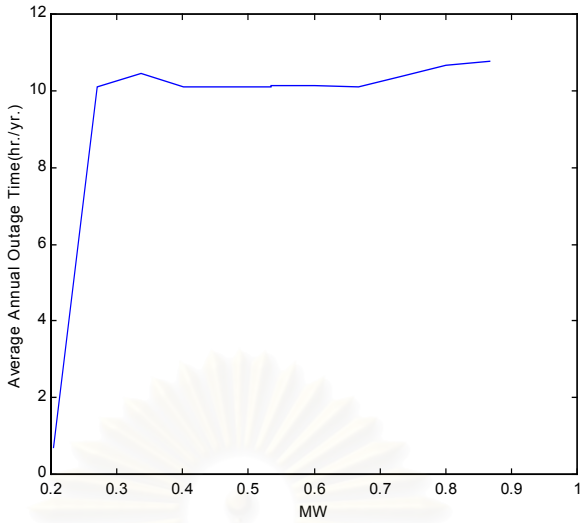


รูปที่ 7.22 อัตราเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลด 7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1



รูปที่ 7.23 ระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ จุดโหลด 7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.24 ระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ จุดโหลด 7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด จุดโหลด 1

7.3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล

7.3.1 จากการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์กับวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติ คาร์โล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.23 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติ คาร์โล

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐาน		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	-1.440036	2.532062	2.720829
2	0.880398	3.963239	6.782577
3	-0.889481	-0.382576	0.292126
4	-1.040431	5.183932	4.856018
5	0.075936	2.298363	-0.913065
6	0.730253	2.432882	-0.231639
7	1.523344	4.634662	2.533580
8	-1.440279	3.564855	2.066227
9	0.301197	3.164237	3.470209
10	0.717125	-5.055819	-4.383308
11	4.546140	2.018910	2.850143
12	0.357095	-5.627036	-1.577190
13	0.684213	-7.237192	-1.190355
14	2.818057	-5.125473	-2.461148
15	2.557992	-0.806486	1.721468
16	2.053269	6.131002	1.972300
17	1.136381	4.382764	1.512560
18	4.315600	7.516292	-0.209232
19	1.230968	0.619153	1.849161
20	2.183685	-0.795648	1.362167
21	0.523746	-2.741214	-2.238546
22	0.912549	-3.334335	-2.461507

SAIFI	1.204949	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี
SAIDI	1.131574	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี
CAIDI	-0.072502	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ
ASAI	-0.000099	
ASUI	1.131574	
ENS	0.919130	kWh/ปี
AENS	0.919130	kWh/ผู้ใช้-ปี
IER(BIM)	0.827099	บาท/kWh
IER(SIM)	1.030443	บาท/kWh
IER(CEM)	-3.245115	บาท/kWh

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 7.23 เมื่อคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ทั้งโดยวิธีวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติ คาร์โลมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น เราสามารถใช้ทั้ง 2 วิธีในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้

ความแตกต่างสูงสุดของอัตราการเสียเฉลี่ย ณ แต่ละจุดโหลด คือ 4.54614% ณ จุดโหลดที่ 11

ความแตกต่างสูงสุดของระยะเวลาเสียเฉลี่ย ณ แต่ละจุดโหลด คือ 7.516292 % ณ จุดโหลดที่ 18

ความแตกต่างสูงสุดของระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี ณ แต่ละจุดโหลด คือ 6.782577% ณ จุดโหลดที่ 2

ความแตกต่างเฉลี่ยของอัตราการเสียเฉลี่ยของระบบ คือ 8.805214%

ความแตกต่างเฉลี่ยของระยะเวลาเสียเฉลี่ยของระบบ คือ 19.444273 %

ความแตกต่างเฉลี่ยของระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปีของระบบ คือ 12.787454%

7.3.2 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี

ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่คำนวณได้ทุกค่า เป็นตัวเลขฟัซซี ในการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์การที่ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี นั้นไม่มีผลต่ออัตราเสียเฉลี่ย ณ แต่ละจุดโหลด พิจารณาได้จากตารางที่ 7.8 เนื่องจากกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์ที่เป็นฟัซซีนั้น เป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว เมื่อทำ Defuzzification แล้วทำให้ค่าที่ได้เป็นค่าที่ α - cut เท่ากับ 1 ซึ่งคือค่าประมาณที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด

แต่ฟัซซีมีผลกับ ระยะเวลาเสียเฉลี่ยและระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี เนื่องจากมีการคูณและหารเลขฟัซซี เมื่อทำ Defuzzification แล้ว ค่าที่ได้ไม่จำเป็นต้องเท่ากับค่าที่ α - cut เท่ากับ 1

ค่าที่แสดงในรูปตัวเลขฟัซซีของดัชนีความเชื่อถือได้นั้น ได้รวมความคลาดเคลื่อนของข้อมูลของอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ ดังนั้นถ้าเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงไม่เท่ากับค่าที่คำนวณได้ เราจะสามารถประเมินค่าความเชื่อถือได้นั้นเป็นตามระดับของค่าความเป็นสมาชิก

พื้นที่ใต้กราฟของดัชนีค่าความเชื่อถือได้ที่คำนวณได้จากวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติ คาร์โล จะน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้จากวิธีการวิเคราะห์ ดังนั้นค่าที่ได้จึงเบี่ยงเบนได้น้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบมอนติ คาร์โล เมื่อข้อมูลของอุปกรณ์เป็นตัวเลขค่าเดียวและเป็นฟัซซี พบว่า แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากใช้การสุ่มตัวเลขในการคำนวณ และข้อมูลเป็นฟัซซีรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว

7.3.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี

ในกรณีนี้ เราพิจารณาพิกัดของสาย ที่ค่ากระแส 400 A และทำการเปลี่ยนค่าโหลด ณ จุดโหลดที่พิจารณา สามารถแบ่งเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็น 2 กรณี คือ

กรณี 1 : อัตราเสียเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากไม่เกิดการตัดโหลดออกเมื่อพิจารณาขนาดพิกัดของสาย แต่ระยะเวลาเสียเฉลี่ยและระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปีเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเกิดการขัดข้องในระบบ การนำระบบกลับคืน บางส่วนไม่สามารถทำได้ เนื่องจากกระแสในระบบมีขนาดเกินพิกัดของสายไฟฟ้า ทำให้โหลดบางส่วนที่ไม่ได้เสียโดยตรง ซึ่งถูกตัดโดยระบบป้องกันมีระยะเวลาเสียนานขึ้น

กรณี 2 : อัตราเสียเฉลี่ย ระยะเวลาเสียเฉลี่ยและระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการจำกัดขนาดพิกัดของสาย ทำให้เกิดการตัดโหลดที่ไม่เสีย และไม่สามารถนำโหลดกลับคืนได้

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าโหลดที่สายป้อนย่อยใด โหลดที่มีผลกระทบมากที่สุด คือ โหลดบริเวณปลายสายป้อนย่อย แม้ว่าจะมี Tie Switch อยู่ก็ตาม เพราะต้องพิจารณาขนาดพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าด้วย ทำให้ไม่สามารถนำโหลดกลับคืนได้หมดทุกกรณี เมื่อเกิดเหตุขัดข้องในระบบ

การเปลี่ยนแปลงของดัชนีอัตราเสียเฉลี่ย ระยะเวลาเสียเฉลี่ย และระยะเวลาเสียเฉลี่ยหนึ่งปี แสดงดังรูปที่ 7.4 ถึง 7.18 จากกราฟจะเห็นได้ว่าดัชนีค่าความเชื่อถือได้ จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโหลดเพิ่มขึ้น เพราะโหลดเพิ่มทำให้กระแสเพิ่มขึ้น

อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเมื่อระยะเวลาไฟฟ้าดับนานขึ้นเล็กน้อย อัตราค่าพลังไฟฟ้าดับก็ลดลงเล็กน้อยด้วยเช่นกัน เพราะว่า จากข้อมูลฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยรวม (บาท/kWhเฉลี่ย) ค่าความเสียหายจะลดลงเมื่อเวลาที่ไฟฟ้าดับนานขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าโหลด เมื่อคำนวณดัชนีด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติ คาร์โลนั้น ได้ทำการทดสอบเพียงแค่ 2 จุดโหลดเท่านั้น เนื่องจากวิธีนี้ต้องใช้เวลาในการคำนวณนาน แนวโน้มของผลที่ได้เป็นเช่นเดียวกับวิธีวิเคราะห์

7.3.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ

ในการประเมินอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ ค่าที่ได้จะขึ้นกับระยะเวลาที่เสียหรือดัชนีความเชื่อถือได้และฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้โดยรวม จากข้อมูลที่นำมาคำนวณฟังก์ชันความเสียหาย

ของผู้ใช้โดยรวม [1] พบว่าระยะเวลาไฟฟ้าดับแปรผกผันกับอัตราความเสียหายบาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมงเฉลี่ย

ในการประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่ได้จากวิธีระบุเหตุขัดข้องจะได้ค่าน้อยที่สุด ในขณะที่ค่าที่ได้จากวิธีดัชนีพื้นฐานและดัชนีระบบมีค่าใกล้เคียงกัน การที่อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่คำนวณด้วยวิธีระบุเหตุขัดข้องมีค่าแตกต่างจากอีกสองวิธีที่กล่าวไปแล้วนั้น เนื่องจากวิธีระบุเหตุขัดข้องคำนวณจากระยะเวลาไฟฟ้าดับที่เกิดขึ้นจริง ในกรณีที่กำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซีนั้น อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่คำนวณได้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลเป็นตัวเลขตัวเดียว เนื่องจากค่าที่ได้ ได้จากการ Defuzzification ด้วยวิธีจุดศูนย์กลางพื้นที่ สำหรับกรณีที่กำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี ค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่ได้ จะเปลี่ยนไปตามระดับของโหลดที่เปลี่ยนไป เนื่องจากระดับของโหลดมีผลต่อระยะเวลาไฟฟ้าดับของระบบ

ในการประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลา อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่ได้จากวิธีระบุเหตุขัดข้องจะได้ค่าน้อยที่สุด และค่าที่ได้จากทั้ง 3 วิธีมีค่าใกล้เคียงกันกว่าการใช้วิธีการประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์ เนื่องจากวิธีจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลาเป็นการจำลองการทำงานจริงของอุปกรณ์ ในกรณีที่กำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์เป็นฟัซซี อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ข้อมูลเป็นตัวเลขค่าเดียว เนื่องจากพื้นที่ใต้กราฟของดัชนีค่าความเชื่อถือได้นั้นมีพื้นที่น้อยดังนั้นเมื่อทำการ Defuzzification ด้วยวิธีจุดศูนย์กลางพื้นที่ และกรณีที่กำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี ค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่ได้ จะเปลี่ยนไปตามระดับของโหลดที่เปลี่ยนไป เนื่องจากระดับของโหลดมีผลต่อระยะเวลาไฟฟ้าดับของระบบเช่นเดียวกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับเมื่อคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบตามลำดับเวลามีค่าใกล้เคียงกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

สรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการประเมินดัชนีความเชื่อถือและอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ โดยวิธีการวิเคราะห์และวิธีการจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลา แบบมอนติ คาร์โล จากผลที่ได้จากการทดสอบกับระบบทดสอบของ RBTS บัส 2 ทำให้ทราบถึงความเชื่อถือได้ ณ แต่ละจุดโหลด ความเชื่อถือได้ของระบบ และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับของระบบจำหน่ายไฟฟ้า อีกทั้งสามารถแสดงให้เห็นผลกระทบต่อความเชื่อถือได้เมื่อเกิดจากความไม่แน่นอนของข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบที่กำหนดให้เป็นตัวเลขฟัซซี และเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดที่เป็นฟัซซีโดยที่พิจารณาขนาดของพิกัดของสายไฟฟ้าร่วมด้วย ซึ่งผลที่ได้จะเป็นตัวเลขฟัซซีที่สามารถแสดงถึงการกระจายของค่าดัชนีที่อาจจะเป็นไปได้ทั้งหมด

อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่คำนวณได้ของระบบจำหน่ายนั้นๆ ขึ้นกับฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า และระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับ ค่าอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับที่คำนวณได้นี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย และใช้ในการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อไป จากการที่ให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี ค่าที่อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับได้จึงเป็นตัวเลขฟัซซี ทำให้การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้ายืดหยุ่นขึ้น ซึ่งระดับของการวางแผนและการปรับปรุงขึ้นกับระดับ α-cut ของอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับ

ในการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ด้วยวิธีวิเคราะห์ ซึ่งมีข้อดีในด้านความเร็ว และความแม่นยำ แต่มีข้อเสีย คือ ค่าที่ได้จะคงที่ทุกรอบของการคำนวณ เมื่อพารามิเตอร์ของระบบไม่เปลี่ยนแปลง และต้องคำนึงถึงจำนวนเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบ

สำหรับในการประเมินความเชื่อถือได้ด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลา แบบมอนติคาร์โล ซึ่งมีข้อดี คือ ไม่ต้องคำนึงถึงเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดขึ้น เพราะเป็นการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในระบบ และค่าที่ได้ไม่จำเป็นต้องออกมาเท่ากันทุกรอบในการคำนวณ แม้ว่าค่าพารามิเตอร์จะไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากใช้การสุ่มในการคำนวณ

การนำฟัซซีมาใช้ในการอธิบายความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ต่างๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น เป็นประโยชน์อย่างมากในประเทศไทย เนื่องจากในปัจจุบันไม่มีการเก็บสถิติการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจำหน่าย แต่ในการแสดงและจำลองถึงความไม่แน่นอนของค่าพารามิเตอร์ต่างๆนั้น จะสามารถทำได้อย่างเหมาะสม สะดวกและชัดเจนยิ่งขึ้น ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่จริงในขณะนั้น ซึ่งอาจจะได้จากการสอบถามจากหน้างาน

8.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบ และผลที่ได้ จะสามารถสรุปข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

1) ควรพิจารณาให้ครอบคลุมถึงข้อจำกัดอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติงานจริง เช่น แผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ การถ่ายโอนโหลดแบบจำกัด และ การพิจารณาฟังก์ชันความเสียหายเป็นฟัซซี เพื่อให้ได้ผลสอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้น
2) ควรจะพัฒนาตัวโปรแกรมให้มีส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (Graphic user interface) เพื่อที่จะทำให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้ได้อย่างสะดวกขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] วรพงษ์ ดีอารมย์. การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้และอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[2] Mohamed,E.El. Electric Power Application of Fuzzy Systems. United States of America : IEEE Press, 1998.

[3] George,J.KLIR and BoYuan. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications. United States of America : Prentice-Hall Inc., 1995.

[4] อรรถกร กรุณานนท์. การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟัซซี่ในการประเมินค่าความเชื่อถือได้และกำลังผลิตสำรองที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[5] กุลยศ อุดมวงศ์เสรี. การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์มอนติคาร์โลแบบสุ่มการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบและการแบ่งแยกโครงข่ายไฟฟ้ากำลัง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[6] Billinton Roy and Allan R.N. Reliability Evaluation of Engineering Systems. 2nd edition. United States of America : Plenum Press, 1992.

[7] Billinton Roy and Wang P. Teaching Distribution System Reliability Evaluation Using Monte Carlo Simulation. IEEE Transaction on Power Systems 14, 2 (May 1999) : 397-403.

[8] Billinton Roy and Allan R.N. Reliability Evaluation of Power Systems. Northern Ireland : Pitman Publishing ,1984.

[9] L. Goel and R. Billinton. Determination of Reliability Worth For Distribution System Planning. IEEE Transaction on Power Delivery 9, 3 (July 1994) :1577-1583.

[10] Transmission and Distribution Subcommittee of the IEEE Power Engineering Society. IEEE Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. IEEE Std 16 (April 1999) : 1366-1998.

[11] L. Goel and R. Billinton. Evaluation of Interrupted Energy Assessment Rates in Distribution System. IEEE Transaction on Power Delivery 6, 4 (October 1991) :1876-1882.

[12] Saraiva J.T., Miranda V. and Pinto L.M.V.G. Impact on some planning decisions from a fuzzy modeling of power systems. IEEE Transactions on Published 9, 2 (May 1994) : 819-825.

[13] Allan R.N., Billinton R., Sjarief I., Goel L. and So K.S. A Reliability Test System For Educational Purposes – Basic Distribution System Data And Results. IEEE Transaction on Power Systems 6, 2 (May 1991): 813-820.

[14] Saraiva J.T. and Sousa A.V. New Advances in Integrating Fuzzy Data in Monte Carlo Simulation to Evaluate Reliability Indices of Composite Power Systems. Mediterranean Electrotechnical Conference, 1998 9th 2 (1998) : 1084 –1088.

[15] L. Goel, R. Billinton. And R. Gupta. Basic Data and Evaluation of Distribution System Reliability Worth. Power System Research Group Department of Electrical Engineering University of Saskatchewan (1991) : 271-277.

[16] Pang Wang and Roy Billinton. Time Sequential Distribution System Reliability Worth Analysis Considering Time Varying Load and Cost Models. IEEE Transaction on Power Delivery 14, 3 (July 1999) : 1046-1051.

[17] Pang Wang and Roy Billinton. Distribuiton System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical and Sequential Simulation Techniques. IEEE Transaction on Power Systems 13, 4 (November 1998) : 1245-1250.

[18] J.Tome Saraiva Reliability Evaluation of Generation/Transmission Power Systems Including Fuzzy Data. IEEE International Symposium on ISCAS'96 1 (1996) : 609 –612.

[19] J.Tome Saraiva and Vladimilo Miranda Generation/Transmission Power System Reliability Evaluation by Monte Carlo Simulation Assuming A

Fuzzy Load Description. IEEE Transaction on Power Systems 11, 2(May 1996) :690-695.

[20] Zimmerman R.D., and Gan D. Matpower User Manual V.2.0. Power Systems Engineering Research Center (PSERC) School of Electrical Engineering. NY: Cornell University, Ithaca, 14853.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ผลการทดสอบ

ก. ผลการทดสอบเมื่อคำนวณด้วยใช้วิธีวิเคราะห์

ผลการทดสอบของระบบทดสอบ RBTS บัส 2 โดยกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่จุดโหลด 4, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 19 และ 22

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 4

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	0.252250	3.038728	0.753754	0.252250	3.038728	0.753754
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.258048	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.258048	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.939937	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.939937	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.704179	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.704179	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999893		
ASUI	0.000107			0.000107		
ENS	21375.27	kWh/ปี		21375.27	kWh/ปี	
AENS	11.20	kWh/ผู้ใช้-ปี		11.20	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.64	บาท/kWh		70.64	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.73	บาท/kWh		71.73	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.2 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 4

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.3 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 4

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.4 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 4

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.5 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 4

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	2.015750	5.592110	11.084572
6	0.249000	4.769712	1.167880	2.012500	5.592902	11.068268
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.991750	5.416674	10.608992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.277332	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.048667	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.845312	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999880		
ASUI	0.000113			0.000120		
ENS	25712.90	kWh/ปี		35947.95	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		18.84	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.48	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.19	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.21	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.6 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 4

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	2.015750	5.592110	11.084572	2.015750	5.592110	11.084572
6	2.012500	5.592902	11.068268	2.012500	5.592902	11.068268
7	2.036750	5.522429	11.060492	2.051750	5.556650	11.210992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.277567	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.277646	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.051033	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.051822	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.850714	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.852513	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999880			0.999880		
ASUI	0.000120			0.000120		
ENS	36152.93	kWh/ปี		36221.25	kWh/ปี	
AENS	18.95	kWh/ผู้ใช้-ปี		18.98	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.48	บาท/kWh		65.48	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.19	บาท/kWh		70.19	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.19	บาท/kWh		71.18	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.7 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 7

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	3.171613	0.776580	0.249000	4.769712	1.167880
7	0.252250	3.038728	0.753754	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.258048	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.937681	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.695289	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999887		
ASUI	0.000107			0.000113		
ENS	20976.15	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	10.99	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.53	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	71.13	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.76	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.8 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 7

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.9 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 7

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.10 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 7

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.11 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 7

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.12 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 7

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.976750	5.380353	10.458492	2.036750	5.522429	11.060492
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267086	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267401	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990800	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.993956	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.772492	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.780055	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25781.22	kWh/ปี		26054.53	kWh/ปี	
AENS	13.51	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.66	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.31	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.47	บาท/kWh		71.44	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.13 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 8

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
6	0.249000	3.171613	0.776580	0.249000	3.171613	0.776580
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25313.77	kWh/ปี		25313.77	kWh/ปี	
AENS	13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.52	บาท/kWh		65.52	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.81	บาท/kWh		70.81	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.51	บาท/kWh		71.51	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.14 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 8

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
6	0.249000	3.171613	0.776580	0.249000	3.171613	0.776580
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25313.77	kWh/ปี		25313.77	kWh/ปี	
AENS	13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.52	บาท/kWh		65.52	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.81	บาท/kWh		70.81	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.51	บาท/kWh		71.51	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.15 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 8

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.16 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 8

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.17 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 8

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	0.01	kWh/ผู้ใช้-ปี		0.01	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.18 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 8

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.19 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 9

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
6	0.249000	3.171613	0.776580	0.249000	3.171613	0.776580
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25313.77	kWh/ปี		25313.77	kWh/ปี	
AENS	13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.52	บาท/kWh		65.52	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.81	บาท/kWh		70.81	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.51	บาท/kWh		71.51	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.20 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 9

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
6	0.249000	3.171613	0.776580	0.249000	3.171613	0.776580
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.987756	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.762007	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25313.77	kWh/ปี		25313.77	kWh/ปี	
AENS	13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.52	บาท/kWh		65.52	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.81	บาท/kWh		70.81	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.51	บาท/kWh		71.51	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.21 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 9

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.22 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 9

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.23 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 9

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.24 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 9

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.25 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 10

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.26 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 10

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.27 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 10

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.28 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 10

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.29 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 10

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.30 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 10

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	1.978750	5.720394	11.130725
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.276107	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.041578	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.836255	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999881		
ASUI	0.000113			0.000119		
ENS	25712.90	kWh/ปี		30179.77	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		15.82	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.30	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.24	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.31 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 13

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก. 32 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 13

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.33 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 13

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.34 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 13

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.35 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 13

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.36 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 13

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	1.978750	5.720394	11.130725	1.978750	5.720394	11.130725
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.276107	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.276107	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.041578	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.041578	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.836255	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.836255	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999881			0.999881		
ASUI	0.000119			0.000119		
ENS	30179.77	kWh/ปี		30179.77	kWh/ปี	
AENS	15.82	kWh/ผู้ใช้-ปี		15.82	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.30	บาท/kWh		70.30	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.24	บาท/kWh		71.24	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.37 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 15

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.38 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 15

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.26701	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.99001	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.77060	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.99989			0.999887		
ASUI	0.00011			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.39 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 15

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.40 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 15

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	257128.95	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.41 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 15

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.42 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 15

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	1.978750	5.720394	11.130725
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.276107	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.041578	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.836255	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999881		
ASUI	0.000113			0.000119		
ENS	25712.90	kWh/ปี		30179.77	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		15.82	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.30	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.24	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.43 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	0.252250	5.404992	1.340704
22	0.255500	5.401133	1.357008	0.255500	5.401133	1.357008
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999893		
ASUI	0.000107			0.000107		
ENS	15984.20	kWh/ปี		15984.20	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.34	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.75	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.44 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	0.252250	5.404992	1.340704
22	0.255500	5.401133	1.357008	0.255500	5.401133	1.357008
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999893		
ASUI	0.000107			0.000107		
ENS	15984.20	kWh/ปี		15984.20	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.34	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.75	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.45 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	1.958500	5.648646	10.878638
22	0.255500	5.401133	1.357008	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999887		
ASUI	0.000107			0.000113		
ENS	15984.20	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.46 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	0.01	kWh/ผู้ใช้-ปี		0.01	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.47 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.48 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.49 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 19

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	0.252250	5.404992	1.340704
22	0.255500	5.401133	1.357008	0.255500	5.401133	1.357008
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999893		
ASUI	0.000107			0.000107		
ENS	15984.20	kWh/ปี		15984.20	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.34	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.75	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.50 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 19

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	0.252250	5.404992	1.340704
22	0.255500	5.401133	1.357008	0.255500	5.401133	1.357008
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999893		
ASUI	0.000107			0.000107		
ENS	15984.20	kWh/ปี		15984.20	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.34	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.75	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.51 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 19

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	1.958500	5.648646	10.878638
22	0.255500	5.401133	1.357008	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999887		
ASUI	0.000107			0.000113		
ENS	15984.20	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.52 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 19

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.53 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 19

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.54 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 19

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.55 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 22

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	0.252250	5.404992	1.340704
22	0.255500	5.401133	1.357008	0.255500	5.401133	1.357008
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999893		
ASUI	0.000107			0.000107		
ENS	15984.20	kWh/ปี		15984.20	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.34	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.75	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.56 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 22

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	0.252250	5.404992	1.340704
22	0.255500	5.401133	1.357008	0.255500	5.401133	1.357008
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999893		
ASUI	0.000107			0.000107		
ENS	15984.20	kWh/ปี		15984.20	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.34	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.75	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.57 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 22

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	0.252250	5.404992	1.340704	1.958500	5.648646	10.878638
22	0.255500	5.401133	1.357008	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.257171	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.935024	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.697385	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999893			0.999887		
ASUI	0.000107			0.000113		
ENS	15984.20	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.34	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.75	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.58 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 22

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.59 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 22

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ตารางที่ ก.60 ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 22

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.239250	3.092960	0.727667	0.239250	3.092960	0.727667
2	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
3	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
4	0.239250	3.924573	0.923317	0.239250	3.924573	0.923317
5	0.252250	4.773988	1.184184	0.252250	4.773988	1.184184
6	0.249000	4.769712	1.167880	0.249000	4.769712	1.167880
7	1.961750	5.343476	10.307992	1.961750	5.343476	10.307992
8	0.139750	3.962657	0.544559	0.139750	3.962657	0.544559
9	0.139750	5.101625	0.701079	0.139750	5.101625	0.701079
10	0.242500	3.065182	0.730928	0.242500	3.065182	0.730928
11	0.252250	3.985234	0.988534	0.252250	3.985234	0.988534
12	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
13	0.252250	4.616237	1.145054	0.252250	4.616237	1.145054
14	0.255500	4.622412	1.161358	0.255500	4.622412	1.161358
15	0.242500	5.417189	1.291791	0.242500	5.417189	1.291791
16	0.252250	3.196479	0.792884	0.252250	3.196479	0.792884
17	0.242500	3.119880	0.743971	0.242500	3.119880	0.743971
18	0.242500	3.940348	0.939621	0.242500	3.940348	0.939621
19	0.255500	3.999434	1.004838	0.255500	3.999434	1.004838
20	0.255500	4.778156	1.200488	0.255500	4.778156	1.200488
21	1.958500	5.648646	10.878638	1.958500	5.648646	10.878638
22	1.961750	5.647740	10.894942	1.961750	5.647740	10.894942
SAIFI	0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.267007	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.990012	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.770599	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999887			0.999887		
ASUI	0.000113			0.000113		
ENS	25712.90	kWh/ปี		25712.90	kWh/ปี	
AENS	13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.48	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(CEM)	65.49	บาท/kWh		65.49	บาท/kWh	
IER(BIM)	70.32	บาท/kWh		70.32	บาท/kWh	
IER(SIM)	71.48	บาท/kWh		71.48	บาท/kWh	

ข. ผลการทดสอบเมื่อคำนวณด้วยใช้จำลองเหตุการณ์ตามลำดับเวลาแบบ มอนติ คาร์โล

ผลการทดสอบของระบบทดสอบ RBTS บัส 2 โดยกำหนดให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดที่พิจารณาเป็นฟัซซี ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่จุดโหลด 16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 1			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 2		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.252106	3.038977	0.766859	0.251945	3.049941	0.768227
2	0.256136	3.053767	0.783803	0.256242	3.062435	0.770366
3	0.264200	3.692932	0.974981	0.264244	3.693537	0.784487
4	0.246354	3.661489	0.902880	0.246170	3.671645	0.976696
5	0.255562	4.624964	1.183219	0.255128	4.633498	0.904006
6	0.252681	4.690387	1.183578	0.252669	4.686552	1.180990
7	1.930865	5.285751	10.204631	1.930663	5.280089	1.183140
8	0.135258	3.664134	0.496175	0.135381	3.659696	10.194870
9	0.131232	5.173682	0.678553	0.131334	5.151555	0.493743
10	0.237714	2.834860	0.674576	0.238052	2.831350	0.677978
11	0.250964	4.196636	1.054020	0.251082	4.198413	0.675034
12	0.252115	4.260780	1.074918	0.251986	4.265502	1.052668
13	0.248662	4.427619	1.102271	0.248738	4.449272	1.074370
14	0.253847	4.862653	1.235038	0.253645	4.857388	1.104565
15	0.234276	5.273356	1.236612	0.234272	5.282705	1.228089
16	0.264769	3.081131	0.814586	0.264759	3.093117	1.239366
17	0.247053	3.254746	0.804075	0.247053	3.268859	0.817998
18	0.262473	3.740682	0.981671	0.262409	3.725801	0.808171
19	0.273986	3.698756	1.011803	0.274205	3.701937	0.978107
20	0.271686	4.710179	1.279947	0.271311	4.713747	1.015128
21	0.269970	5.257872	1.418411	0.270056	5.242756	1.277085
22	0.270545	5.236420	1.418102	0.270724	5.225289	1.414131
SAIFI	0.263786	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.263837	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.956371	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.829594	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.625549	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.144338	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999891			0.999905		
ASUI	0.000109			0.000095		
ENS	16071.368	kWh/ปี		20805.711	kWh/ปี	
AENS	8.423149	kWh/ผู้ใช้-ปี		10.904461	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.515122	บาท/kWh		65.507134	บาท/kWh	
IER(SIM)	67.005479	บาท/kWh		69.034362	บาท/kWh	
IER(CEM)	65.339487	บาท/kWh		65.234108	บาท/kWh	

ตารางที่ ข.2 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 3			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 4		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.251810	3.029079	0.762586	0.252395	3.074684	0.775016
2	0.255872	3.067163	0.784323	0.255707	3.020281	0.772124
3	0.264568	3.695827	0.977711	0.264256	3.711990	0.982436
4	0.246368	3.676278	0.907406	0.245986	3.643447	0.896199
5	0.255258	4.636344	1.182795	0.255097	4.641500	1.185260
6	0.252671	4.683546	1.181913	0.253052	4.657392	1.177866
7	1.930583	5.272832	10.180155	1.931593	5.288331	10.214912
8	0.134921	3.663405	0.493275	0.137370	3.603997	0.494299
9	0.131167	5.170376	0.678221	0.129875	5.158889	0.670596
10	0.237952	2.826424	0.671864	0.236691	2.848721	0.674017
11	0.250996	4.201614	1.055178	0.252002	4.187006	1.055613
12	0.252279	4.275665	1.079269	0.251725	4.297877	1.082552
13	0.248370	4.422154	1.098107	0.247281	4.408681	1.090103
14	0.253732	4.854185	1.229402	0.254163	4.792897	1.219064
15	0.234210	5.270893	1.234644	0.235829	5.236407	1.237207
16	0.264466	3.087761	0.818359	0.265477	3.112800	0.826901
17	0.246723	3.246204	0.802034	0.249010	3.251349	0.809608
18	0.262706	3.728669	0.977805	0.262978	3.752059	0.987620
19	0.273989	3.697557	1.013003	0.275851	3.727082	1.028173
20	0.271525	4.709526	1.278003	0.271346	4.646566	1.259721
21	0.270171	5.262725	1.420711	0.268830	5.238532	1.408761
22	0.270603	5.230465	1.414021	0.270334	5.215291	1.409865
SAIFI	0.263799	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.264207	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.955896	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		0.960647	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.623583	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.635970	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999891			0.999890		
ASUI	0.000109			0.000110		
ENS	16050.62	kWh/ปี		16047.70	kWh/ปี	
AENS	8.41	kWh/ผู้ใช้-ปี		8.41	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.52	บาท/kWh		65.53	บาท/kWh	
IER(SIM)	67.01	บาท/kWh		66.97	บาท/kWh	
IER(CEM)	65.29	บาท/kWh		65.10	บาท/kWh	

ตารางที่ ข.3 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 5			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 6		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.249344	3.038740	0.758191	0.242434	3.065646	0.741678
2	0.268901	3.053750	0.822433	0.271579	3.149690	0.856127
3	0.282834	3.687694	1.042457	0.265758	4.044497	1.075108
4	0.241128	3.669817	0.885158	0.244189	3.693458	0.906240
5	0.256596	4.619420	1.185313	0.260503	4.794966	1.248457
6	0.244605	4.655443	1.138162	0.262254	4.723246	1.243883
7	1.937669	5.264143	10.202304	1.957320	5.174795	10.132270
8	0.111612	3.669239	0.409274	0.140448	3.931659	0.547629
9	0.141133	5.147294	0.725044	0.136369	4.920663	0.667082
10	0.239903	2.827569	0.680112	0.241854	3.109501	0.750699
11	0.253581	4.176867	1.059498	0.251767	3.737843	0.940629
12	0.264249	4.236114	1.118272	0.257597	4.001106	1.030694
13	0.245915	4.406175	1.084166	0.243610	4.304964	1.050697
14	0.252516	4.854218	1.227036	0.259348	4.307044	1.115328
15	0.221571	5.277003	1.168335	0.237877	5.391138	1.280734
16	0.248133	3.078693	0.764060	0.258756	3.114602	0.805450
17	0.240017	3.277093	0.786420	0.248265	3.103268	0.770385
18	0.265282	3.735529	0.989804	0.244187	3.887203	0.949859
19	0.268574	3.666888	0.986014	0.251765	3.949572	0.996848
20	0.258351	4.710383	1.216915	0.259348	4.346382	1.128685
21	0.280697	5.259371	1.476825	1.961504	5.389965	10.568329
22	0.263424	5.243067	1.380434	1.966760	5.388480	10.599484
SAIFI	0.267518	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.271546	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	0.968034	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.008333	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.618575	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.713300	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999889			0.999885		
ASUI	0.000111			0.000115		
ENS	15980.62	kWh/ปี		25326.25	kWh/ปี	
AENS	8.38	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.54	บาท/kWh		65.50	บาท/kWh	
IER(SIM)	67.03	บาท/kWh		66.67	บาท/kWh	
IER(CEM)	65.23	บาท/kWh		65.00	บาท/kWh	

ตารางที่ ข.4 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 7			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 8		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.243974	3.055193	0.750456	0.240949	3.060687	0.736662
2	0.272786	3.126196	0.855324	0.270123	3.148105	0.844357
3	0.268244	4.061458	1.094954	0.265555	4.036967	1.067555
4	0.244810	3.694323	0.909656	0.242335	3.649826	0.881239
5	0.259226	4.779085	1.235246	0.258674	4.791951	1.241011
6	0.261971	4.721374	1.227690	0.257740	4.752508	1.222578
7	1.952673	5.132607	10.029419	1.955730	5.188484	10.153386
8	0.141346	3.954422	0.560496	0.140936	3.923739	0.553554
9	0.136591	4.900057	0.669384	0.136020	4.906772	0.660010
10	0.240732	3.095042	0.743462	0.241536	3.114729	0.750512
11	0.250525	3.765973	0.937364	0.251545	3.729789	0.935616
12	0.255547	3.982011	1.018470	0.257917	3.990007	1.029501
13	0.243519	4.296294	1.040764	0.242659	4.306127	1.044043
14	0.260068	4.296414	1.114020	0.258010	4.333374	1.116945
15	0.237250	5.425154	1.286289	0.238841	5.338215	1.272067
16	0.257807	3.116301	0.806413	0.257957	3.126885	0.806346
17	0.248197	3.080565	0.766081	0.248700	3.082098	0.760773
18	0.243855	3.863587	0.936805	0.242366	3.907034	0.949370
19	0.249949	3.986023	1.002196	0.251488	3.898666	0.975203
20	0.261801	4.387071	1.148668	0.260761	4.341681	1.129508
21	1.962341	5.424303	10.651770	1.959814	5.391185	10.565140
22	1.969191	5.362104	10.554195	1.967024	5.379563	10.582715
SAIFI	0.271396	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.270967	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.006922	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.001478	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.710163	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.695939	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999885			0.999886		
ASUI	0.000115			0.000114		
ENS	25315.11	kWh/ปี		25259.64	kWh/ปี	
AENS	13.27	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.24	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.50	บาท/kWh		65.52	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.68	บาท/kWh		66.74	บาท/kWh	
IER(CEM)	65.87	บาท/kWh		65.05	บาท/kWh	

ตารางที่ ข.5 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 9			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 10		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.242295	3.093227	0.752127	0.241907	3.028794	0.729612
2	0.274721	3.150657	0.860011	0.269717	3.156082	0.854188
3	0.268690	4.037617	1.079692	0.266690	4.007309	1.068059
4	0.245321	3.698423	0.904895	0.244574	3.697306	0.901077
5	0.260669	4.816795	1.249668	0.259939	4.751114	1.243183
6	0.260794	4.749876	1.240962	0.263688	4.741874	1.250688
7	1.956486	5.162909	10.100057	1.959857	5.204368	10.196155
8	0.137907	3.951638	0.539812	0.138667	3.971856	0.553248
9	0.135692	4.916893	0.663649	0.136327	4.956500	0.682279
10	0.241003	3.102143	0.743701	0.240069	3.089866	0.744100
11	0.254932	3.749702	0.955636	0.252974	3.749308	0.951565
12	0.258958	4.021520	1.031802	0.258401	4.024704	1.040399
13	0.243727	4.292475	1.043432	0.242779	4.277144	1.037779
14	0.258819	4.274223	1.100715	0.258449	4.312270	1.117906
15	0.238027	5.390035	1.284284	0.236666	5.410897	1.279814
16	0.260141	3.126714	0.815767	0.260244	3.081237	0.802169
17	0.252308	3.105097	0.784026	0.247866	3.078585	0.761017
18	0.244778	3.921752	0.959555	0.243946	3.907358	0.950506
19	0.253325	3.942328	0.988210	0.249742	3.949408	0.985285
20	0.260576	4.363797	1.137212	0.259851	4.359967	1.128296
21	1.962507	5.372777	10.540625	1.965828	5.425301	10.666183
22	1.968570	5.360816	10.552088	1.967226	5.400965	10.625318
SAIFI	0.273251	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.271153	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.012566	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.005919	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.705618	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.709788	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999884			0.999885		
ASUI	0.000116			0.000115		
ENS	25281.52	kWh/ปี		25420.96	kWh/ปี	
AENS	13.25	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.32	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.48	บาท/kWh		65.50	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.70	บาท/kWh		66.68	บาท/kWh	
IER(CEM)	65.15	บาท/kWh		65.04	บาท/kWh	

ตารางที่ ข.6 ผลการคำนวณด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เมื่อให้ข้อมูลของอุปกรณ์และโหลดเป็นฟัซซี โดยเปลี่ยนค่าของโหลด ณ จุดโหลดที่ 16

ตำแหน่งโหลด	ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 11			ดัชนีพื้นฐานระดับโหลดที่ 12		
	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี	λ ครั้งต่อปี	r ชั่วโมง	U ชั่วโมงต่อปี
1	0.242366	3.082200	0.750844	0.239342	3.057695	0.728485
2	0.267854	3.150595	0.839283	0.275541	3.145053	0.863375
3	0.264911	4.079794	1.077886	0.265617	4.013181	1.065922
4	0.244602	3.654502	0.889130	0.249357	3.636979	0.908113
5	0.261115	4.771292	1.250200	0.260025	4.768681	1.236926
6	0.262551	4.705756	1.232726	0.262595	4.723085	1.243024
7	1.957258	5.224637	10.218927	1.959135	5.124984	10.040909
8	0.137791	3.941543	0.546424	0.140097	3.968163	0.565237
9	0.136931	4.910500	0.678282	0.135343	4.903310	0.665032
10	0.241637	3.110188	0.754277	0.244669	3.049852	0.741750
11	0.252571	3.730614	0.942811	0.250057	3.741048	0.936782
12	0.258589	4.023500	1.036929	0.259184	4.044100	1.049870
13	0.243467	4.305383	1.045153	0.242606	4.306496	1.043042
14	0.259887	4.325776	1.129228	0.260810	4.311725	1.125340
15	0.237322	5.407222	1.287943	0.239544	5.390361	1.289190
16	0.258222	3.109306	0.800410	0.257125	3.119619	0.802202
17	0.247631	3.100664	0.771109	0.249313	3.128764	0.781470
18	0.242607	3.890133	0.944658	0.246217	3.892471	0.962453
19	0.252152	3.931265	0.989754	0.249697	3.971401	0.994275
20	0.261395	4.340918	1.131303	0.260060	4.361065	1.125127
21	1.960545	5.387916	10.564423	1.961432	5.393776	10.580497
22	1.965929	5.365046	10.539881	1.964347	5.396575	10.603560
SAIFI	0.271004	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี		0.272021	ครั้ง/ผู้ใช้-ปี	
SAIDI	1.007963	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี		1.009055	ชั่วโมง/ผู้ใช้-ปี	
CAIDI	3.719368	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ		3.709471	ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ	
ASAI	0.999885			0.999885		
ASUI	0.000115			0.000115		
ENS	25339.49	kWh/ปี		25307.78	kWh/ปี	
AENS	13.28	kWh/ผู้ใช้-ปี		13.26	kWh/ผู้ใช้-ปี	
IER(BIM)	65.49	บาท/kWh		65.51	บาท/kWh	
IER(SIM)	66.65	บาท/kWh		66.69	บาท/kWh	
IER(CEM)	65.00	บาท/kWh		65.11	บาท/kWh	

ประวัติผู้เขียน

นางสาวศิริพร คติธรรมารักษ์ เกิดวันที่ 10 ตุลาคม 2521 ที่ จังหวัดยะลา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2542 จากนั้นได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย