



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า ..... วิศวกรรมไฟฟ้า .....

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ถูกควบคุมด้วยระบบ DMS

Reliability Evaluation of DMS Controlled Power Distribution Systems

นามผู้วิจัย นายพงศ์พัฒน์ อสุวพงษ์พัฒนา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณชัยพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ถูกรควบคุมด้วยระบบ DMS

Reliability Evaluation of DMS Controlled Power Distribution Systems

โดย

นายพงศ์พัฒน์ อสุวพงษ์พัฒนา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พงศ์พิพัฒน์ อสุวพงษ์พัฒนา 2557: การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ถูกควบคุมด้วยระบบ DMS ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณชัยเชษฐ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 88 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่มีการติดตั้งระบบ DMS (Distribution Management System) ในการใช้งานจริงระบบ DMS นั้นมีโอกาสขัดข้องโดยไม่ตอบสนองตามคำสั่ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี Event tree ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบ DMS เพื่อนำมาปรับปรุงการประเมินความเชื่อถือได้ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง LBS (Load Break Switch) บนสายป้อน โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนและความเชื่อถือได้ของระบบร่วมกัน ผ่านระบบทดสอบซึ่งได้แก่สายป้อน PTN411 ของการไฟฟ้านครหลวงและฟีดเดอร์ KWA06 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีความซับซ้อนมากขึ้น จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง LBS เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบ DMS แตกต่างจากกรณีที่ไม่พิจารณาค่าความน่าจะเป็นดังกล่าว ดังนั้นเพื่อการตัดสินใจที่ถูกต้องในการปรับปรุงระบบในอนาคต จึงควรนำค่าความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบ DMS มาพิจารณาในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายด้วย

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pongpipat Asuvapongpatana 2014: Reliability Evaluation of DMS Controlled Power Distribution Systems. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpreedapong, Ph.D. 88 pages.

This thesis presents a method of reliability evaluation of power distribution systems controlled by Distribution Management System (DMS). Occasionally, DMS can fail to respond to the command. As a result, the event tree technique is applied to determine the probability of successful operation of DMS in order to enhance the reliability evaluation of power distribution systems. Moreover, Multi-Objective Genetic Algorithms (MOGA) is used to find the optimal placement of LBS on a distribution feeder considering investment costs of LBS as well as reliability worth. Feeder PTN411 of Metropolitan Electricity Authority (MEA) and Feeder KWA06 of Provincial Electricity Authority (PEA) are selected as test systems to illustrate the proposed method. From the results, the optimal placement of LBS resulted from the case study regarding the probability of successful operation of DMS is different from that resulted from the case study overlooking the above probability. To achieve more accurate decision making on system improvement, thus, the probability of successful operation of DMS should be taken into account in the reliability evaluation of power distribution systems.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลย์พิเชษฐ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมุข อุดมলেখกะ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาช่วยแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณครอบครัวอสุวพงษ์พัฒนาที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนมาโดยตลอดในทุก ๆ ด้านที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ได้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ พี่ๆ เพื่อนๆ การไฟฟ้านครหลวง ที่ให้กำลังใจ และอยู่เคียงข้างกันมาโดยตลอด แม้ในวันที่สิ้นหวังและไร้กำลังใจ ขอขอบพระคุณอาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอน และมอบความรู้อันเป็นประโยชน์เพื่อไปใช้ ในอนาคต และขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ในโครงการวิจัย และพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลังที่สนับสนุน และให้คำแนะนำในการเรียนและการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

พงศ์พัฒน์ อสุวพงษ์พัฒนา

กรกฎาคม 2557

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	52
ผล	52
วิจารณ์	67
สรุปและข้อเสนอแนะ	85
สรุป	85
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	86
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	88

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ SIC	21
2	ฟังก์ชันความเสียหาย CCDF จำแนกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง	22
3	ข้อมูลของระบบของการไฟฟ้านครหลวงสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)	40
4	ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)	41
5	ข้อมูลของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคฟิเดอรัลคลองขวาน (KWA06)	43
6	ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของฟิเดอรัลคลองขวาน (KWA06)	43
7	ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้านครหลวง (0=สวิตช์ใบมีด, 1=LBS)	66
8	ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (0=สวิตช์ใบมีด, 1=LBS)	82

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระบบอนุกรม	6
2	ระบบขนาน	7
3	ระบบที่มีอนุกรมต่อกับระบบขนาน	7
4	อุปกรณ์ A และ อุปกรณ์ B มาต่อขนานกัน	8
5	ความเชื่อถือได้ของระบบ	8
6	ระบบซับซ้อน	8
7	การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน โดยวิเคราะห์อุปกรณ์ E ดี และ อุปกรณ์ E เสีย	10
8	มินิมัลลิตีเซตของระบบในภาพที่ 6	11
9	การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณหาค่า U	12
10	การทำงานของอุปกรณ์	14
11	วงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล	17
12	กำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $Lp$ ), กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ( $La$ ), พลังงานไฟฟ้ารวม ( $Ed$ ) และ ช่วงเวลาที่พิจารณา ( $t$ )	19
13	มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ Standard Industrial Classification (SIC)	22
14	รูปแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ร่วมกับวิธี Event tree	24
15	แผนผัง Event tree	26
16	การลดขนาด Event tree	28
17	แผนผัง Event tree ของระบบที่ไม่สามารถทำงานได้	29
18	ตัวอย่างปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์กรณีการเลือกซื้อรถยนต์	30
19	พารามิเตอร์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f1$ และ $f2$	33
20	ขั้นตอนการทำงานของ MOGA	37
21	ระบบของการไฟฟ้านครหลวงสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)	39
22	ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคฟิดเดอร์คลองขวาง (KWA06)	42
23	ตัวอย่างระบบโมดูลของ DMS	44
24	วงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล	45

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ตัวอย่างระบบ DMS ประกอบด้วย 5 โมดูล	45
26	ตัวอย่างระบบควบคุม ที่วิเคราะห์โดยใช้ Event tree สำหรับ Fault ที่เกิดใน section 1	46
27	คำสั่งในการใช้ Pareto ใน โปรแกรม MATLAB	51
28	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto front)	51
29	ระบบของการไฟฟ้านครหลวงสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)	52
30	ตัวอย่างระบบ DMS ที่ประกอบด้วย 10 โมดูล	53
31	ตัวอย่าง แผนผัง Event tree ของสายป้อนพัฒนาการ (PTN411) สำหรับ Fault ที่เกิดใน section 2	54
32	กรณีที่ 1 ติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง	57
33	กรณีที่ 2 ติดตั้งสวิตช์ไบมีดทุกตำแหน่ง	58
34	กรณีที่ 3 และ 4 กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่ $R_2$ , $R_3$ , $R_5$ และ $R_7$	59
35	กรณีที่ 5 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS	61
36	ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	62
37	ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)	62
38	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 5 (Pareto front)	62
39	กรณีที่ 6 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS	63
40	ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	64
41	ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)	64
42	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 6 (Pareto front)	65
43	ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคฟิดเดอร์คลองขวาน (KWA06)	69
44	ตัวอย่างระบบ DMS ที่ประกอบด้วย 9 โมดูล	70
45	ตัวอย่าง แผนผัง Event tree ของฟิดเดอร์คลองขวาน (KWA06) สำหรับ Fault ที่เกิดใน section 2	71

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
46	กรณีที่ 1 ติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง	74
47	กรณีที่ 2 ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง	75
48	กรณีที่ 3 และ 4 กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่ $R_2$ , $R_3$ , $R_5$ และ $R_6$	76
49	กรณีที่ 5 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS	78
50	ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	79
51	ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)	79
52	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 5 (Pareto front)	79
53	กรณีที่ 6 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS	80
54	ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	81
55	ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)	81
56	คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 6 (Pareto front)	81

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MOGA	=	วิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective Genetic Algorithms)
DMS	=	ระบบการจัดการ (Distribution Management System)
RTU	=	การควบคุมระยะไกล (Remote Terminal Unit)
PTN	=	สายป้อนพัฒนาการ
KWA	=	ฟีดเดอร์คลองขวาน จังหวัดระยอง
LBS	=	สวิตช์อัตโนมัติ (Load Break Switch)

## การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ถูกควบคุมด้วยระบบ DMS

### Reliability Evaluation of DMS Controlled Power Distribution Systems

#### คำนำ

จากสถิติพบว่าประเทศที่กำลังพัฒนาเช่น ประเทศไทย มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และผู้ใช้ไฟต่างคาดหวังพลังงานไฟฟ้าที่มีความเชื่อถือได้สูง ดังนั้นความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจึงนับว่าเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้วัดคุณภาพบริการของการไฟฟ้า เป็นเหตุให้มีการพัฒนาระบบไฟฟ้าเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยระบบ DMS ได้เข้ามาควบคุมระบบไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีที่ชาญฉลาด มีความเชื่อถือได้สูง โดยการทำงานแบบอัตโนมัติของ DMS สามารถที่จะช่วยให้ระบบจ่ายไฟกลับได้เองและรวดเร็วขึ้นเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลเป็นระบบที่รับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าย่อยหลังจากลดแรงดันให้ต่ำลงเพื่อส่งต่อไปให้ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไปการต่ออุปกรณ์มีลักษณะเป็นแบบอนุกรมจากสายป้อนไปยังแต่ละจุดโหลด ดังนั้นจึงเป็นระบบที่มีความเชื่อถือต่ำ เนื่องจากเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันต้นทางเปิดวงจรออก ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งสายจำหน่ายไม่มีไฟฟ้าใช้ ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาไฟดับตลอดทั้งวงจร การไฟฟ้าจึงติดตั้ง LBS ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในระบบ DMS เพื่อเปิดวงจรแยกจุดที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ DMS จึงมีประโยชน์ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่เกี่ยวข้องยังคงมีไฟฟ้าใช้ต่อไป แต่ในบางครั้งระบบ DMS อาจเกิดขัดข้องโดยไม่ตอบสนองตามคำสั่ง จึงทำให้การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายต้องมีการพิจารณาโอกาสในการทำงานผิดพลาดของ DMS โดยใช้วิธี Event tree

โดยในการวางแผนออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้า จึงต้องมีการพิจารณาคำแนะนำในการติดตั้ง LBS ที่เหมาะสม ซึ่งต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุน และความเชื่อถือได้ประกอบกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความเชื่อถือได้ของระบบ DMS ซึ่งการทำงานของระบบนั้นอาจจะเกิดการขัดข้องได้ โดยจะส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายในลักษณะต่างๆ กัน ดังจะมีการศึกษาในรายละเอียดต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาแบบจำลองด้านความเชื่อถือได้ของระบบ DMS
2. พัฒนารูปแบบการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ใช้ระบบ DMS ในการควบคุมปฏิบัติการ
3. ประยุกต์ใช้วิธี Multi Objective Genetic Algorithm ในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

## การตรวจเอกสาร

### พื้นฐานความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง

#### 1. ความเป็นมา และความสำคัญของความเชื่อถือได้

ชำนาญ (2547ก) การพัฒนาระบบไฟฟ้าที่ผ่านมาได้ให้ความสำคัญของการออกแบบปรับปรุงโดยคำนึงถึงความเชื่อถือได้ของระบบ และเงินลงทุนเป็นสิ่งสำคัญ โดยมีหลักเกณฑ์ และวิธีการคือการวางแผนเพื่อรองรับกับความเสียหายที่เกิดขึ้นแบบกำหนดค่าแน่นอน ไม่ใช่แบบสุ่ม ซึ่งจุดอ่อนของเกณฑ์ดังกล่าว ไม่สามารถรองรับพฤติกรรมระบบที่เกิดขึ้นตามความน่าจะเป็น หรือแบบสโทแคสติก

ลักษณะความน่าจะเป็นในระบบไฟฟ้ากำลังมีตัวอย่างดังนี้

- อัตราความเสียหายของสายส่งเหนือดินเป็นฟังก์ชัน ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทาง ความยาว การออกแบบสถานที่ติดตั้ง และสภาพแวดล้อม
- การตัดสินใจในการวางแผนและดำเนินการ จะขึ้นอยู่กับผลของการพยากรณ์ซึ่งการพยากรณ์ก็ไม่สามารถคาดเดาขนาดของโหลดได้แน่นอน

#### 2. เกณฑ์ความเชื่อถือได้ แบบความน่าจะเป็น

ชำนาญ (2547ข) เหตุผลหลักสำหรับวิธีการในอดีตไม่ได้นำเทคนิคความน่าจะเป็นมาใช้คือขาดการบันทึกข้อมูล การจำกัดอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการคำนวณ การขาดเทคนิคการคำนวณความเชื่อถือได้ ความไม่เข้าใจถึงความสำคัญ ความหมายของหลักการความน่าจะเป็นและค่าดัชนีความเสี่ยง

พฤติกรรมของระบบโดยธรรมชาติเป็นแบบสโทแคสติก ดังนั้นในการวิเคราะห์ระบบจึงควรเป็นไปตามเทคนิคความน่าจะเป็น ความรู้และวิธีการต่างๆ ทางด้านความน่าจะเป็นเริ่มมีการศึกษาตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ.1930 และได้มีการพัฒนารูปแบบ เทคนิค และการประยุกต์สำหรับการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการวางแผน และหลักการของการทำงานในอดีตที่ผ่านมา มักใช้

วิธีการกำหนดค่าที่แน่นอนเพราะจะได้ผลลัพธ์ที่มีความเชื่อถือได้ ซึ่งอาจมีการปรับเปลี่ยนไปใช้วิธีการทางความน่าจะเป็นซึ่งบอกความเสี่ยงของค่าที่จะนำไปใช้ควบคู่กับการตัดสินใจ

### 3. เกณฑ์การวัดด้วยความน่าจะเป็นและสถิติ

ชำนาญ (2547) การเกิดการขัดข้อง หรือการไม่ทำงานของอุปกรณ์และระบบ จะมีลักษณะเป็นแบบสุ่ม เช่น จำนวนครั้งของการเกิดไฟฟ้าดับ ระยะเวลาที่ขัดข้อง และผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันในแต่ละปี ซึ่งโดยทั่วไปการไฟฟ้าจะทำการบันทึกรายละเอียดของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น และประเมินพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในรูปแบบต่างๆ เช่น

- สมรรถนะความพร้อมใช้งานของระบบ (System Availability)
- พลังงานที่ไม่สามารถจ่ายให้โหลดได้โดยประมาณ (Estimated Unsupplied Energy)
- จำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น
- จำนวนชั่วโมงของการเกิดการขัดข้อง

การจดบันทึกนั้นมีคุณค่ามาก เพราะสามารถทำให้ทราบดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ หรือสามารถสร้างดัชนีเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินความเชื่อถือได้ในอนาคตต่อไป ซึ่งรวมถึงการติดตามผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบระบบใหม่

สิ่งสำคัญที่ได้คือ ค่าดัชนีที่ได้ไม่ใช่ค่ากำหนดแน่นอน แต่เป็นค่าเฉลี่ยหรือค่าประมาณการของการกระจายทางด้านความน่าจะเป็น สมมติฐานที่ใช้โดยให้การขัดข้องที่เกิดขึ้นเป็นแบบสุ่ม ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในอดีตและอนาคต การใช้วิธีการแบบกำหนดค่าที่แน่นอนอาจไม่สามารถบอกความเสี่ยงของค่าที่จะนำไปใช้ได้ ซึ่งต่างจากวิธีการความน่าจะเป็นที่สามารถบอกความเสี่ยงของค่าที่จะนำไปใช้ได้

### 4. การวัดค่าสมบูรณ์ และค่าสัมพันธ

ชำนาญ (2547) ดัชนีที่วัดในลักษณะค่าสมบูรณ์ คือค่าที่คาดหมายว่าต้องเกิดขึ้นในระบบ ซึ่งสามารถสะท้อนสมรรถนะในอดีตได้ เพราะคำนวณจากข้อมูลที่บันทึกไว้ แต่อย่างไรก็ตามเป็น

เรื่องยากถ้าต้องการทำนายดัชนีในอนาคตโดยที่ต้องการความถูกต้องสูงด้วย เพราะรูปแบบระบบจะยังไม่ถูกต้องแน่นอนทั้งหมด

ดัชนีที่วัดในลักษณะค่าสัมพัทธ์ จะง่ายต่อความเข้าใจ เพราะจะมีการคำนวณพฤติกรรมของระบบทั้งก่อน และหลังการออกแบบ และดูการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากการคำนวณดังกล่าว คือความคลาดเคลื่อนจะถูกหักล้างไปเมื่อพิจารณาเพียงผลต่างระหว่างค่าก่อนมีการปรับปรุง และค่าหลังมีการปรับปรุง

ความเข้าใจพื้นฐานมีความจำเป็นในการเลือกรูปแบบ และวิธีการคำนวณ ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

- พิจารณาและประเมินหาค่าความต้องการในด้านความเชื่อถือได้
- หาค่าและวิเคราะห์ว่าชนิดของการจัดช่องเป็นแบบไหน และผลที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร
- กำหนดหาจำนวนครั้งในการเกิดไฟดับ ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยในการเกิดไฟดับ
- นำผลที่ได้จากขั้นต้นมาหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบที่ต้องการ

## 5. วิธีการประเมิน

ชำนาญ (2547) ดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าสามารถคำนวณได้หลายวิธี วิธีการที่สำคัญมีสองวิธีคือ วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) และวิธีการจำลอง (Simulation Method) วิธีการส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นวิธีการวิเคราะห์

### 5.1 วิธีการวิเคราะห์

วิธีการนี้จะแทนระบบโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้จากโครงสร้างนี้โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ในการหาคำตอบ โดยทั่วไปค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ย และใช้เวลาในการคำนวณน้อย เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณจะมีการตั้งสมมติฐานเพื่อให้ปัญหาที่เกิดขึ้นง่ายต่อการสร้างโครงสร้างแบบจำลอง เมื่อระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น วิธีการนี้จะมีคามผิดพลาดมากขึ้น หรือบางครั้งอาจหาค่าไม่ได้ กรณีเช่นนี้อาจใช้วิธีการแบบจำลองแทน

การประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์เป็นวิธีที่อาศัยแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์แล้วคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ตามสมการคณิตศาสตร์ และถือเป็นวิธีที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่นำมาใช้ในการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังนั้นพอจะแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีหลักคือ 1. วิธีการลดทอนเครือข่าย 2. วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข 3. วิธีมินิมัลคัทเซต และ 4. วิธีการวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้ แต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 วิธีการลดทอนเครือข่าย (Network reduction method) (Billinton and Allan, 1992, 1993)

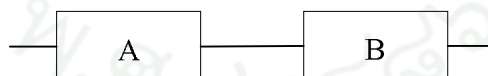
วิธีนี้อาศัยหลักการของการต่อแบบอนุกรมและขนาน ในระบบที่มีอุปกรณ์ต่ออนุกรมกันแสดงดังภาพที่ 1 จะใช้งานได้เมื่ออุปกรณ์ทุกตัวใช้งานได้พร้อมกัน โดยความเชื่อถือได้ของระบบอนุกรมคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$R_{\text{sys}} = R_A * R_B \quad (1)$$

โดย  $R_{\text{sys}}$  คือ ความเชื่อถือได้ของระบบ

$R_A$  คือ ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ A

$R_B$  คือ ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ B



ภาพที่ 1 ระบบอนุกรม

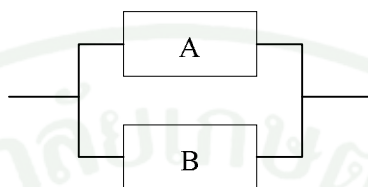
ระบบที่มีอุปกรณ์ต่อขนานแสดงดังภาพที่ 2 จะขัดข้องเมื่ออุปกรณ์ทุกตัวเกิดขัดข้องพร้อมกัน โดยความเสี่ยงของระบบขนานคำนวณได้ตามสมการที่ (2)

$$Q_{\text{sys}} = Q_A * Q_B \quad (2)$$

โดย  $Q_{sys}$  คือ ความเสี่ยงของระบบ

$Q_A$  คือ ความเสี่ยงของอุปกรณ์ A

$Q_B$  คือ ความเสี่ยงของอุปกรณ์ B

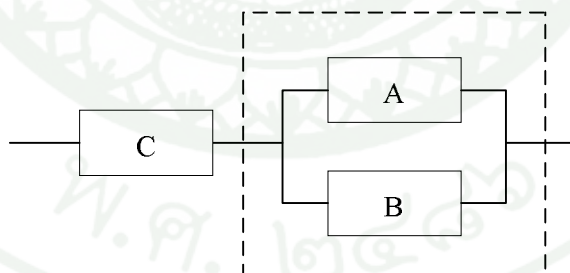


ภาพที่ 2 ระบบขนาน

ความสัมพันธ์ของค่าความเชื่อถือได้และค่าความเสี่ยงของทั้งระบบอนุกรมและขนานจะสามารถหาได้ตามสมการที่ (3)

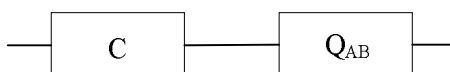
$$Q_{sys} = 1 - R_{sys} \quad (3)$$

สำหรับระบบที่ประกอบด้วยการต่ออนุกรมและขนานผสมกันอยู่นั้นสามารถวิเคราะห์ความเชื่อถือได้โดยการลดทอนเครือข่ายที่แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระบบที่มีอนุกรมต่อกับระบบขนาน

ขั้นแรกทำการลดทอนอุปกรณ์ A และ อุปกรณ์ B ในระบบก่อน โดยนำอุปกรณ์มาขนานกันซึ่งจะได้ความเสี่ยงของอุปกรณ์ A และ อุปกรณ์ B ตามภาพที่ 4 และจะได้สมการที่ (4)



ภาพที่ 4 อุปกรณ์ A และ อุปกรณ์ B มาต่อขนานกัน

$$Q_{AB} = Q_A * Q_B \quad (4)$$

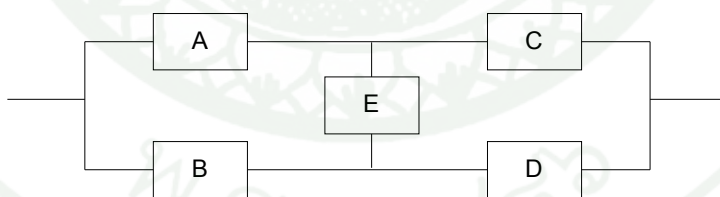
ขั้นต่อไปหาความเชื่อถือได้ของระบบ โดยทำการอนุกรมอุปกรณ์ตามภาพที่ 5 และจะได้สมการที่ (5)



ภาพที่ 5 ความเชื่อถือได้ของระบบ

$$R_{sys} = [R_c * (1 - Q_{AB})] \quad (5)$$

5.1.2 วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Conditional probability method) (Billinton and Allan, 1992, 1993)



ภาพที่ 6 ระบบซับซ้อน

การวิเคราะห์ระบบที่มีความซับซ้อนเช่น อุปกรณ์ในระบบไม่ได้เชื่อมต่อกันในรูปแบบอนุกรมหรือแบบขนานโดยตรง ดังภาพที่ 6 สามารถกระทำได้โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข หาก P คือความน่าจะเป็นตามสมการที่ (6)

$$P(\text{ระบบใช้งานได้}) = P(\text{ระบบใช้งานไม่ได้}) * P(\text{อุปกรณ์ดี}) + P(\text{ระบบใช้งานไม่ได้}) * P(\text{อุปกรณ์เสีย}) \quad (6)$$

ตัวอย่างเช่น วิเคราะห์ระบบที่มีความซับซ้อนดังภาพที่ 6 สามารถวิเคราะห์ที่ความเชื่อถือได้ของระบบตามภาพที่ 7 โดยที่ความเชื่อถือได้ของระบบคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$R_{\text{sys}} = R_{\text{sys1}}(\text{ถ้าอุปกรณ์ E ดี}) R_E + R_{\text{sys2}}(\text{ถ้าอุปกรณ์ E เสีย}) Q_E \quad (7)$$

สมมติให้อุปกรณ์ E ดี ความเชื่อถือได้ของระบบคำนวณได้จากสมการที่ (8)

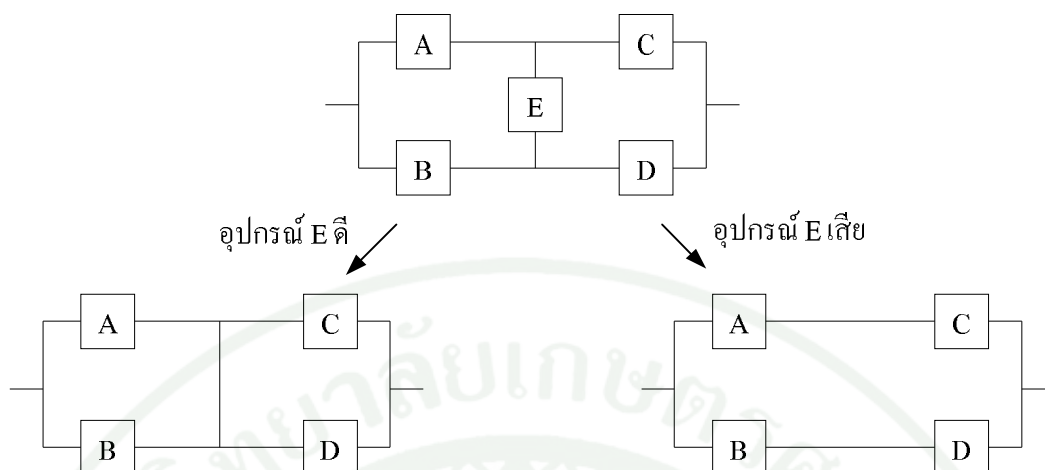
$$R_{\text{sys1}} = (1 - Q_A Q_B)(1 - Q_C Q_D) \quad (8)$$

สมมติให้อุปกรณ์ E เสีย ความเชื่อถือได้ของระบบคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$R_{\text{sys2}} = 1 - [(1 - R_A R_C)(1 - R_B R_D)] \quad (9)$$

เพราะฉะนั้นความเชื่อถือได้ของระบบคำนวณได้จากสมการที่ (10) โดยแทนสมการที่ (8) และ (9) ลงในสมการที่ (7)

$$\begin{aligned} R_{\text{sys}} &= (1 - Q_A Q_B)(1 - Q_C Q_D) R_E + (1 - [(1 - R_A R_C)(1 - R_B R_D)]) Q_E \\ &= R_A R_C + R_B R_D + R_A R_D R_E + R_B R_C R_E - R_A R_B R_C R_D - R_A R_C R_D R_E \\ &\quad - R_A R_B R_C R_E - R_B R_C R_D R_E - R_A R_B R_D R_E + 2 R_A R_B R_C R_D R_E \end{aligned} \quad (10)$$



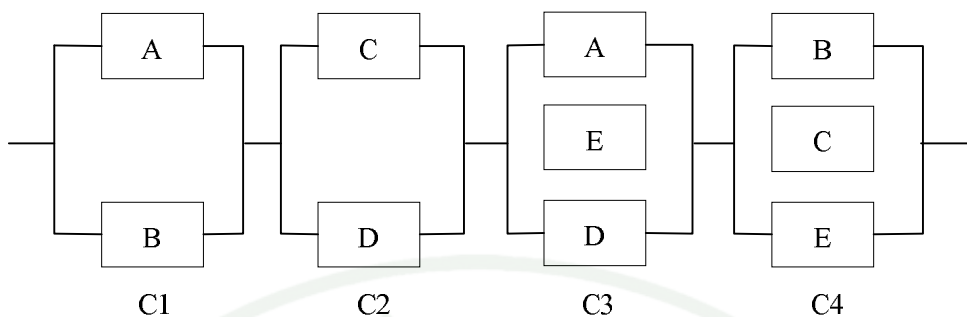
ภาพที่ 7 การแยกเงื่อนไขเพื่อวิเคราะห์ระบบซับซ้อน โดยวิเคราะห์อุปกรณ์ E ดี และอุปกรณ์ E เสีย

วิธีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขนี้ นับเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในด้านของความแม่นยำ แต่วิธีดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเขียน โปรแกรม

### 5.1.3 วิธีมินิมัลลิตเซต (Billinton and Allan, 1992, 1993)

ลิตเซต คือ กลุ่มอุปกรณ์ของระบบซึ่งเมื่อเกิดการล้มเหลว หรือการขัดข้องแล้ว จะทำให้ระบบล้มเหลว หรือไม่สามารถทำงานได้ ส่วนมินิมัลลิตเซต คือ ลิตเซตที่เล็กที่สุดที่เป็นกลุ่มอุปกรณ์ของระบบ ซึ่งเมื่อเกิดการล้มเหลวแล้วทำให้ระบบล้มเหลว และหากอุปกรณ์ของระบบตัวใดตัวหนึ่งในกลุ่มนั้นใช้งานได้ ระบบจะสามารถทำงานได้ทันที หรือกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ทุกตัวในมินิมัลลิตเซตจะต้องล้มเหลวทั้งหมดจึงจะทำให้ระบบล้มเหลว

ตัวอย่างเช่นระบบในภาพที่ 6 จะมีมินิมัลลิตเซตทั้งหมด 4 ชุดดังนี้คือ AB, CD, AED และ BEC และจากนิยามของมินิมัลลิตเซตกับหลักการของระบบอนุกรม และขนานจะได้อ้างภาพที่ 8 โดย  $C_1$   $C_2$   $C_3$  และ  $C_4$  คือ มินิมัลลิตเซตที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 8 มินิมัลลัคตัดเซตของระบบในภาพที่ 6

ความเที่ยงคำนวณได้จากสมการที่ (11) และ (12)

$$Q_{\text{sys}} = P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \dots \cup C_n) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &\approx P(C_1) + P(C_2) + P(C_3) + P(C_4) - P(C_1 \cap C_2) - P(C_1 \cap C_3) \\ &\quad - P(C_1 \cap C_4) - P(C_2 \cap C_3) - P(C_2 \cap C_4) - P(C_3 \cap C_4) \\ &\quad + P(C_1 \cap C_2 \cap C_3) + P(C_1 \cap C_2 \cap C_4) + P(C_1 \cap C_3 \cap C_4) \\ &\quad + P(C_2 \cap C_3 \cap C_4) - P(C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cap C_4) \end{aligned} \quad (12)$$

โดย

$$P(C_1) = Q_A Q_B$$

$$P(C_2) = Q_C Q_D$$

$$P(C_3) = Q_A Q_D Q_E$$

$$P(C_4) = Q_B Q_C Q_E$$

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} P(C_1 \cap C_2 \cap C_3) &= P(C_1 \cap C_2 \cap C_4) = P(C_1 \cap C_3 \cap C_4) = P(C_2 \cap C_3 \cap C_4) \\ &= P(C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cap C_4) = Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้สมการที่ (13)

$$Q_{sys} = Q_A Q_B + Q_C Q_D + Q_A Q_D Q_E + Q_B Q_C Q_E - Q_A Q_B Q_C Q_D - Q_A Q_B Q_D Q_E - Q_A Q_B Q_C Q_E - Q_A Q_C Q_D Q_E - Q_B Q_C Q_D Q_E + 2Q_A Q_B Q_C Q_D Q_E \quad (13)$$

ในระบบที่มีจำนวนมินิมีลต์เซตมาก วิธีการดังกล่าวจะไม่ค่อยสะดวกนัก เพราะว่ามีขั้นตอนการคำนวณที่ซับซ้อน จึงได้ใช้วิธีประมาณการจากสมการที่ (11) โดยนำสมการมาวิเคราะห์ใหม่จะได้สมการที่ (14)

$$Q_{sys} = \sum_{i=1}^n P(C_i) \quad (14)$$

จากตัวอย่างในสมการที่ (13) ถ้าใช้วิธีประมาณการจะได้สมการที่ (15) ดังนี้

$$Q_{sys} = Q_A Q_B + Q_C Q_D + Q_A Q_D Q_E + Q_B Q_C Q_E \quad (15)$$

วิธีมินิมีลต์เซตนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้สำหรับระบบที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการที่มองจากองค์ประกอบของระบบโดยรวมไปหาจุดปลีกย่อย ทำให้สามารถวิเคราะห์ภาพรวมของระบบได้ง่ายรวดเร็ว และไม่ซับซ้อน สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

5.1.4 วิธีการวิเคราะห์แผนผังต้นไม้แสดงความผิดพลาด (Fault tree analysis method) (Billinton, 1993)

เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ Fault tree ซึ่งอาศัยหลักการของ Logic gate โดยมีกรประยุกต์เข้ากับความรู้ทางการคำนวณความเชื่อถือได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การใช้ OR gate และ AND gate ในการคำนวณหาค่า U

ทั้งนี้แผนภาพสัญลักษณ์ใน Fault tree จะมีความหมายในตัวเองที่นอกเหนือจากแผนภาพในทาง Logic gate เป็นต้นว่า รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหมายถึง ผลลัพธ์ของเกท โดยไม่จำเป็นต้องเป็น ผลลัพธ์ของระบบทั้งหมด รูปวงกลมจะหมายถึงความผิดพลาดของอุปกรณ์ ซึ่งไม่สามารถแตกกระจายลงไปได้อีกหรือก็คือเหตุการณ์พื้นฐานนั่นเอง และรูปอื่นๆ ซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในที่นี้ วิธีการนี้มีข้อดีในด้านความเป็นระบบในการวิเคราะห์ กล่าวคือ เมื่อมีข้อมูลป้อนเข้าจะสามารถคำนวณค่าจากแผนผังได้ทันที แต่มีข้อเสียในกรณีที่ไม่ทราบแผนผังต้นไม้มันจะแสดงความผิดพลาด ดังนั้นการวิเคราะห์วิธีนี้จึงไม่สะดวกนักเนื่องจากจะต้องสร้างแผนผังดังกล่าวก่อน และหากระบบซับซ้อนก็จะสร้างแผนผังต้นไม้มันได้ลำบาก

แนวทางในการวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบต้นไม้มันแสดงความผิดพลาดร่วมกับการวิเคราะห์แบบจำลองของระบบทดสอบ โดยพิจารณาว่าองค์ประกอบต่างๆ ส่วนของระบบว่าส่วนใดบ้างที่เมื่อเกิดความผิดพลาดแล้วทำให้ระบบผิดพลาดด้วย แล้วคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ของทุกจุดโหนด ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณในหัวข้อถัดไป

## 5.2 วิธีการจำลอง

วิธีการนี้จะประมาณค่าดัชนีความเชื่อถือได้โดยการจำลองพฤติกรรมของระบบแบบสุ่ม วิธีการนี้จะจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันเหมือนที่เกิดขึ้นจริง ในทางปฏิบัติวิธีการนี้สามารถรวมตัวแปรต่างๆ รวมทั้งเหตุการณ์ที่มีลักษณะสุ่มเข้าไปด้วย เช่น การเกิดไฟฟ้าดับ และการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ โดยทั่วไปจะถูกแทนด้วยพฤติกรรมของอุปกรณ์ ซึ่งถ้าจำลองการทำงานของระบบเป็นเวลานานๆ จะสามารถศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ของระบบได้อย่างครอบคลุม

กระบวนการจำลองสามารถทำได้ 2 วิธี

5.2.1 จำลองแบบสุ่ม (Random) พิจารณาระยะเวลาที่สนใจเพื่อนำมาจำลองแบบสุ่ม

5.2.2 จำลองแบบลำดับ (Sequential) พิจารณาแต่ละลำดับเวลาในการจำลองตามลำดับ

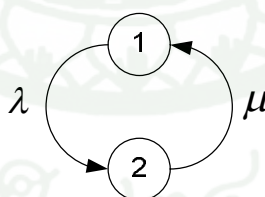
ระยะเวลาถูกเลือกให้สอดคล้องกับชนิดของระบบที่จะศึกษา เช่นเดียวกับความยาวของคาบเวลาในการจำลองเพื่อให้ได้ความแน่ใจในการประมาณค่าดัชนีความเชื่อถือได้

การเลือกวิธีการจำลองจะขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ในอดีตของระบบว่ามีผลต่อพฤติกรรมของระบบหรือไม่ กระบวนการจำลองแบบสุ่มจะถูกใช้ก็ต่อเมื่อเหตุการณ์ในอดีตไม่มีผลต่อเหตุการณ์ปัจจุบัน แต่ถ้าเป็นกระบวนการจำลองแบบลำดับนั้นเหตุการณ์ในอดีตจะมีผลต่อเงื่อนไขในปัจจุบัน

## 6. รูปแบบระบบ

ความไม่พร้อมใช้งานของการจ่ายไฟฟ้า

ชำนาญ (2549) ตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าในเชิงสถิติ คือความน่าจะเป็นของการเกิดความขัดข้องในระบบในช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งให้คำจำกัดความของความน่าจะเป็นที่ว่า คือความไม่พร้อมใช้งาน (Unavailability) และที่ผ่านมาในระบบไฟฟ้าจะใช้คำว่าอัตราการเกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความถี่ และระยะเวลา ซึ่งโดยปกติจะอยู่บนสมมติฐานของการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล โดยการทำงานของอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ (10)



ภาพที่ 10 การทำงานของอุปกรณ์

ความพร้อมใช้งานคำนวณได้จากสมการที่ (16)

$$Availability = A = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{m}{m + r} = \frac{f}{\lambda}$$

$$= \frac{\sum[\text{uptime}]}{\sum[\text{downtime}] + \sum[\text{uptime}]} \quad (16)$$

ความไม่พร้อมใช้งานคำนวณได้จากสมการที่ (17)

$$\begin{aligned} \text{Unavailability} = U &= \frac{\lambda}{\lambda + \mu} = \frac{r}{m + r} = \frac{f}{\mu} \\ &= \frac{\sum[\text{downtime}]}{\sum[\text{downtime}] + \sum[\text{uptime}]} \end{aligned} \quad (17)$$

- โดยที่  $\lambda$  คือ ค่าเฉลี่ยอัตราการล้มเหลว  
 $\mu$  คือ อัตราการซ่อม  
 $m$  คือ ระยะเวลาทำงานโดยเฉลี่ย = MTTF =  $1/\lambda$   
 $r$  คือ ระยะเวลาในการซ่อมโดยเฉลี่ย = MTTR =  $1/\mu$   
 $m + r$  คือ ระยะเวลาระหว่างเกิดความเสียหาย = MBTF =  $1/f$   
 $f$  คือ ความถี่ในการเกิดความเสียหาย =  $1/T$   
 $T$  คือ คาบเวลาในการเกิดความเสียหาย =  $1/f$

## 7. เทคนิคพื้นฐาน และโครงข่ายเรเดียล

เทคนิค และวิธีการในการวิเคราะห์ระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของระบบจำหน่ายที่นำมาวิเคราะห์

## 8. เทคนิคในการคำนวณ

ชำนาญ (2547ข) เทคนิคพื้นฐานในการหาผลลัพธ์ในระบบ จะมีตัวแปรที่สนใจอยู่ 3 ค่า คือ อัตราการล้มเหลว (Failure Rate,  $\lambda$ ) ระยะเวลาไฟฟ้าดับเฉลี่ย (Average Outage Time,  $r$ ) และระยะเวลาไฟฟ้าดับในช่วง 1 ปี (Annual Outage Time,  $U$ ) ซึ่งการหาผลลัพธ์โดยปกติจะใช้ตัวแปรที่อยู่ภายใต้สมมติฐานการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล

กรณีของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยส่วนมากจะเป็นการต่อในลักษณะของระบบอนุกรม ซึ่งการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์แบบอนุกรม จะเป็นไปตามความสัมพันธ์อย่างง่าย คือ เมื่อมีอุปกรณ์ใดก็ตามที่ไม่สามารถใช้งานได้ ระบบจะไม่สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าต่อไปได้

## 9. ดัชนีความเชื่อถือได้

ชานาญ (2547ข) รูปแบบของการเกิดไฟฟ้าดับจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

### 9.1 การเกิดไฟฟ้าดับชั่วคราว

การเกิดไฟฟ้าดับชั่วคราว คือ ไฟฟ้าดับในระยะเวลาสั้นๆ แล้วระบบสามารถจ่ายไฟกลับได้ตามสภาพเดิมตามมาตรฐานที่เคยทำงานได้ ภายในระยะเวลาที่กำหนดหลังจากเกิดเหตุการณ์

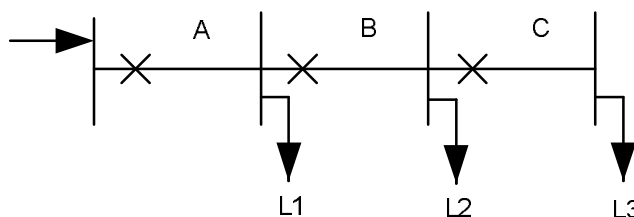
### 9.2 การเกิดไฟฟ้าดับถาวร

การเกิดไฟฟ้าดับถาวร คือ ไฟฟ้าดับในระยะเวลาชานาน โดยที่ระบบจะสามารถทำงานต่อไปได้ ก็ต่อเมื่อเปลี่ยนหรือซ่อมแซมบางส่วนของระบบที่ผิดพลาดนั้น การเกิดไฟฟ้าดับถาวรนั้นแบ่งออกได้เป็นสองแบบคือ

- แบบสมบูรณ์ คือ การเกิดไฟฟ้าดับมีสาเหตุมาจากการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้า และแหล่งจ่าย
- แบบเพียงบางส่วน คือ การเกิดไฟฟ้าดับที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าดับเพียงบางส่วนของระบบ

ดังนั้นสามารถคำนวณค่าดัชนีทางด้านความเชื่อถือได้ดังนี้

โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ดัชนีค่าความเชื่อถือได้ที่จุดโหลด (Load Point Reliability Indices) และดัชนีค่าความเชื่อถือได้ของระบบ (System Reliability Indices) วงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล โดยทั่วไปแสดงในภาพที่ (11)



ภาพที่ 11 วงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล

### 9.2.1 ดัชนีความเชื่อถือได้ที่จุดโหลด (Load Point Reliability Indices)

เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายต่อเชื่อมกับระบบไฟฟ้า โดยมีอุปกรณ์ต่ออยู่ระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นแบบเรเดียล แสดงดังภาพที่ 11 ดังนั้นหากอุปกรณ์ใดเกิดขัดข้องจนทำให้ขาดการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้า และแหล่งจ่ายแล้ว จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดไฟฟ้าดับ ดัชนีที่จุดโหลดประกอบด้วย อัตราการล้มเหลวเฉลี่ย ( Average Failure Rate :  $\lambda_s$  ) ระยะเวลาไฟฟ้าดับเฉลี่ย ( Average Outage Time :  $r_s$  ) และ ระยะเวลาไฟฟ้าดับต่อปีเฉลี่ย ( Average Annual Outage Time :  $U_s$  ) ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังสมการที่ (18) (19) และ (20)

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i \quad \text{ครั้ง/ปี} \quad (18)$$

$$U_s = \sum_i \lambda_i r_i \quad \text{ชั่วโมง/ปี} \quad (19)$$

$$r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} \quad \text{ชั่วโมง/ครั้ง} \quad (20)$$

โดยที่  $\lambda_i$  คือ อัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่มีผลต่อจุดโหลดที่ทำการศึกษา

$r_i$  คือ ระยะเวลาในการนำอุปกรณ์กลับคืนสภาพปกติ

### 9.2.2 ดัชนีค่าความเชื่อถือได้ของระบบ (System Reliability Indices)

แม้ว่าดัชนีค่าความเชื่อถือได้ของจุดโหลดดังกล่าวข้างต้น จะเป็นดัชนีที่มีความสำคัญเป็นพื้นฐาน แต่ยังไม่สามารถแสดงภาพรวมของระบบได้ เช่น ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของจุดโหลด ไม่ว่าจะมิผู้ใช้ไฟฟ้า 1 ราย หรือ 100 ราย ต่ออยู่ หรือไม่ว่าจะมีขนาดของโหลด 10 kW หรือ 100 kW ต่ออยู่ ต่างมีค่าดัชนีที่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อสะท้อนภาพความรุนแรง หรือความสำคัญของการเกิดไฟฟ้าดับของระบบ จึงได้มีการกำหนดค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบขึ้นเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

#### 9.2.2.1 ค่าดัชนีอ้างอิงกับผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer-Oriented Indices) ได้แก่

- ก) System Average Interruption Frequency Index หรือ SAIFI ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดดังสมการที่ (21)

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี} \quad (21)$$

- ข) System Average Interruption Duration Index หรือ SAIDI ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดดังสมการที่ (22)

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad \text{ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี} \quad (22)$$

- ค) Customer Average Interruption Duration Index หรือ CAIDI ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบดังสมการที่ (23)

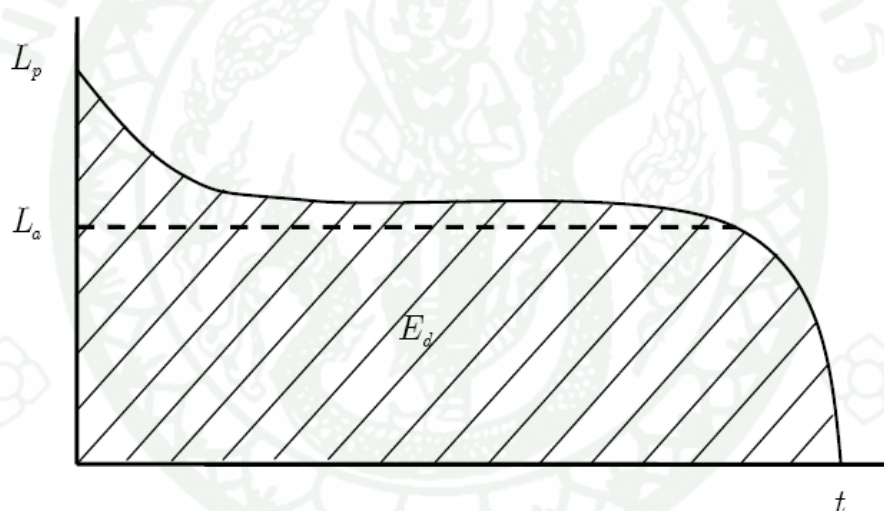
$$CAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum \lambda_i N_i} \quad \text{ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี} \quad (23)$$

- ง) Average Service Availability Index หรือ ASAI ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของการมีไฟฟ้าใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งระบบดังสมการที่ (24)

$$ASAI = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (24)$$

- จ) Average Service Unavailability Index หรือ ASUI ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของการไม่มีไฟฟ้าใช้ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งระบบดังสมการที่ (25)

$$ASUI = 1 - ASAI \quad (25)$$



ภาพที่ 12 กำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $L_p$ ), กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ( $L_a$ ), พลังงานไฟฟ้ารวม ( $E_d$ ) และช่วงเวลา  
ที่พิจารณา ( $t$ )

9.2.2.2 ค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์กับโหลดและพลังงานไฟฟ้า (Load-and-energy oriented Indices) ในภาพที่ 12 แสดงการใช้ไฟฟ้าของจุดโหลดจุดหนึ่ง โดยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average load:  $L_a$ ) และโหลดแฟกเตอร์ ( $f$ ) สามารถหาได้จาก 2 แนวทางตามสมการที่ (26) และ (27)

$$L_a = L_p \times f \quad \text{กิโลวัตต์} \quad (26)$$

$$L_a = \frac{E_d}{t} \quad \text{กิโลวัตต์} \quad (27)$$

ค่าดัชนีที่สำคัญและนิยมใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่

- ก) Energy Not Supplied Index หรือ ENS ซึ่งแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายในช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับดังสมการที่ (28)

$$ENS = \sum L_{a(i)} U_i \quad \text{หน่วย} \quad (28)$$

- ข) Average Energy Not Supplied Index หรือ AENS ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้จ่ายในช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดดังสมการที่ (29)

$$AENS = \frac{\sum L_{a(i)} U_{(i)}}{\sum N_i} \quad \text{หน่วย/ผู้ใช้ไฟฟ้า} \quad (29)$$

โดยที่  $\lambda_i$  คือ อัตราการล้มเหลวของจุดโหลด

$U_i$  คือ ระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าดับเฉลี่ยต่อปีของแต่ละจุดโหลด

$N_i$  คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลด

$L_{av(i)}$  คือ ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละจุดโหลด

### 9.2.3 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ (Billinton and Wang, 1998)

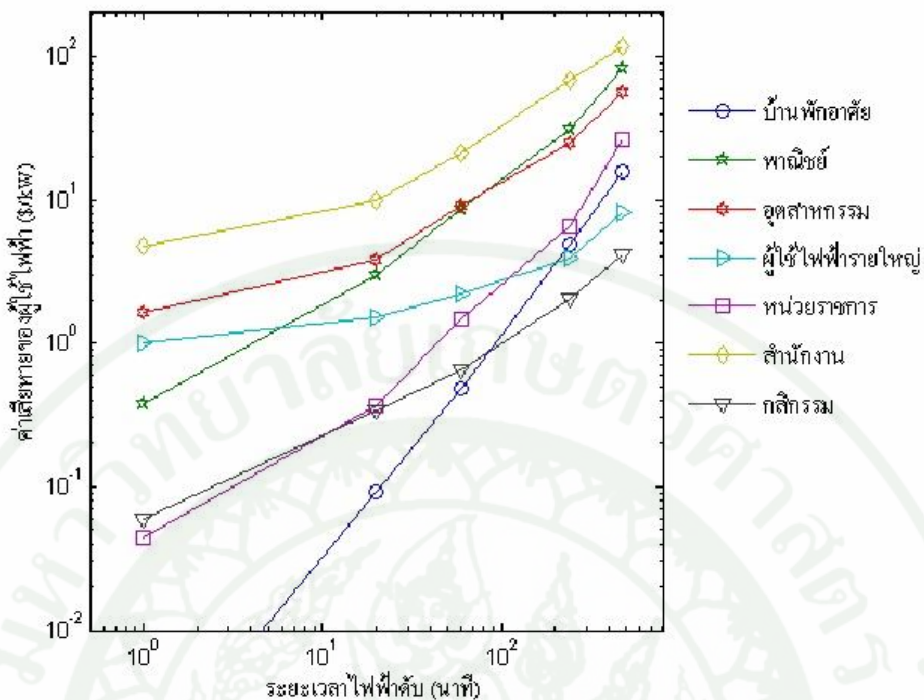
ตารางที่ 1 Standard Industrial Classification (SIC) จะแบ่งประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ อุตสาหกรรม พาณิชยกรรม บ้านพักอาศัย หน่วยงานราชการ สำนักงานเอกชน ข้อมูลที่ได้เป็นผลการสำรวจของ University of Saskatchewan ซึ่งเป็นข้อมูลประมาณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า 7 ประเภทซึ่งมีอยู่ 5 ช่วงเวลา

ตารางที่ 1 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ SIC

ประเภท	ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ (นาทิจ) และ มูลค่าความเสียหาย (\$/kW)/นาทิจ				
	1	20	60	240	480
ผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่	1.005	1.508	2.225	3.968	8.240
อุตสาหกรรม	1.625	3.868	9.085	25.16	55.81
พาณิชย์	0.381	2.969	8.552	31.32	83.01
กิจกรรม	0.060	0.343	0.649	2.064	4.120
บ้านพักอาศัย	0.001	0.093	0.482	4.914	15.69
หน่วยงานราชการ	0.044	0.369	1.492	6.558	26.04
สำนักงานเอกชน	4.778	9.878	21.06	68.83	119.2

ที่มา: R. Billinton, and Ping Wang. (1998)

จากตารางที่ 1 พบว่ามูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ และชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งจากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทสำนักงานเอกชนมีมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับสูงสุด และผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีมูลค่าความเสียหายต่ำที่สุด คือผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย แต่ถ้าพิจารณาระยะเวลาในการเกิดไฟฟ้าดับเป็นเวลานานแล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีมูลค่าความเสียหายต่ำที่สุดจะเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจกรรม ในกรณีที่ระยะเวลาไฟฟ้าดับมีเวลาอยู่ในช่วงของเวลาในตารางให้ทำการคำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยใช้วิธีการประมาณแบบภายใน (Interpolate) ในลักษณะเชิงเส้น แต่ถ้ามากกว่า 8 ชั่วโมงให้ใช้การประมาณแบบภายนอก (Extrapolate) ในลักษณะเชิงเส้น จากภาพที่ (13) แสดงมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ Standard Industrial Classification (SIC)



ภาพที่ 13 มูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับของ Standard Industrial Classification (SIC)

ตารางที่ 2 ฟังก์ชันความเสียหาย CCDF จำแนกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

ประเภท	ค่าความเสียหายจากไฟฟ้าดับ (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)/นาที						
	5	30	60	120	240	360	480
บ้านอยู่อาศัย	0.175	2.295	9.49	44.15	90.96	163.18	224.28
ธุรกิจขนาดเล็ก	48.35	165.62	332.56	720.86	1679.83	2629.24	3326.18
ธุรกิจขนาดกลาง	75.07	231.34	513.51	1014.41	2020.21	3027.58	3761.05
ธุรกิจขนาดใหญ่	41.37	164.97	322.73	641.62	1358.59	2139.86	2980.42
เฉพาะอย่าง	25.35	105.22	208.35	413.99	903.26	2139.86	1891.26
ราชการ	4.47	18.99	36.43	71.29	199.38	241.54	325.32

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (2555)

ตารางที่ 2 มูลค่าความเสียหายจากไฟฟ้าดับแบบรวมประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า Composite Customer Damage Function (CCDF) จะแบ่งประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 6 ประเภทคือ บ้านอยู่อาศัย

ธุรกิจขนาดเล็ก ธุรกิจขนาดกลาง ธุรกิจขนาดใหญ่ ธุรกิจเฉพาะ และ หน่วยงานราชการ ข้อมูลที่ได้ เป็นผลการสำรวจของ การไฟฟ้านครหลวง ซึ่งเป็นข้อมูลประมาณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ ไฟฟ้า 6 ประเภท ซึ่งมีอยู่ 7 ช่วงเวลาด้วยกัน ผลจากการสำรวจแสดงให้เห็นว่ามูลค่าความเสียหาย เนื่องจากไฟฟ้าดับขึ้นอยู่กับชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้าแล้วยังมีระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งระยะเวลาที่ผู้ใช้ ไฟฟ้าไม่สามารถใช้ไฟฟ้าได้จะขึ้นอยู่กับ อุปกรณ์ป้องกัน อุปกรณ์ตัดตอน และ เวลาในการจ่าย ไฟฟ้าจากสายป้อนอื่น ในกรณีที่ระยะเวลาไฟฟ้าดับมีเวลาอยู่ในช่วงของเวลาในตารางให้ทำการ คำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการประมาณแบบภายใน (Interpolate) ใน ลักษณะเชิงเส้นแต่ถ้ามากกว่า 8 ชั่วโมงให้ใช้การประมาณแบบภายนอก (Extrapolate) ในลักษณะ เชิงเส้น

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่ามูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ และชนิดของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยที่ดัชนีจะเป็นตัวบอกความเชื่อถือได้ของระบบ เพื่อให้ทราบว่าจุดใดของระบบที่เป็นความเสียหายที่จะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งดัชนีความ เชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สำคัญสามารถแทนพฤติกรรมของระบบ ได้คือ SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ASUI, ENS, AENS

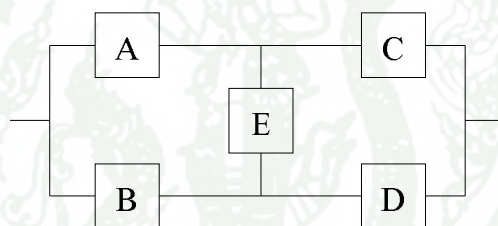
## หลักการ Event Tree

### 1. หลักการพื้นฐาน (General concepts)

Billinton and Allan (1992) วิธี Event tree แสดงแผนผังทุกเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบ โดยใช้แผนผังต้นไม้อธิบายทุกเหตุการณ์ที่เปรียบเสมือนกิ่งก้านของต้นไม้ที่แตกสาขาออกไป วิธี Event tree นี้นิยมใช้พิจารณาอุปกรณ์ที่มีอยู่ในระบบตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออุปกรณ์หนึ่งในระบบเกิดชำรุดขึ้นมา สามารถพิจารณาอุปกรณ์ตัวถัดไปได้ทันที

### 2. การทำงานของระบบอย่างต่อเนื่อง (Continuously operated systems)

#### 2.1 (Complete event tree)



ภาพที่ 14 รูปแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ร่วมกับวิธี Event tree

จากภาพที่ 14 เป็นรูปแบบอุปกรณ์ที่จะนำมาวิเคราะห์ร่วมกับวิธี Event tree โดยที่การขัดข้องของระบบนี้จะถูกพิจารณาจากอุปกรณ์ในระบบที่ทำงานสำเร็จและไม่สำเร็จ โดยพิจารณาตามลำดับขั้นตอน แต่ก็มีอุปกรณ์บางตัวที่ไม่สามารถทำงานได้ตามลำดับขั้นตอน ในตัวอย่างนี้จากแผนผัง Event tree ของระบบจะพิจารณาตามลำดับ A, B, C, D และ E ได้แสดงในภาพที่ 15 R ความหมาย คืออุปกรณ์ทำงานสำเร็จ และ Q ความหมาย คืออุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ หรือไม่สำเร็จ

ในตัวอย่างนี้จะมีเส้นทาง  $2^2$  เท่ากับ 32 เส้นทาง ซึ่งแต่ละเส้นทางได้แสดงไว้ในภาพที่ 15 โดยใช้หลักการ Event tree เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยหาผลลัพธ์ของระบบทั้งหมด เนื่องจากแต่ละเส้นทางมีรูปแบบเหตุการณ์ของตัวเอง ในตัวอย่างนี้จะมีเพียงแค่คำตอบ Success ของระบบ หรือ

Failure ของระบบ และ S คือ Success และ F คือ Failure แสดงในภาพที่ 15 การทำงานของระบบ Event tree มีความซับซ้อนอยู่มาก เนื่องจากมีผลลัพธ์ที่เป็นไปได้หลากหลาย

ในการหาผลลัพธ์ของแต่ละเส้นทางสามารถหาได้จากความน่าจะเป็นของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถหาความเชื่อถือได้ของระบบจากสมการที่ (30) โดยพิจารณาเฉพาะเส้นทางที่มีรูปแบบเหตุการณ์ Success เท่านั้น

โดยความน่าจะเป็นของแต่ละเส้นทาง คำนวณได้จากผลคูณความน่าจะเป็นของแต่ละอุปกรณ์

$P(P_i)$  = ความน่าจะเป็นของรูปแบบเหตุการณ์ในเส้นทาง  $i$

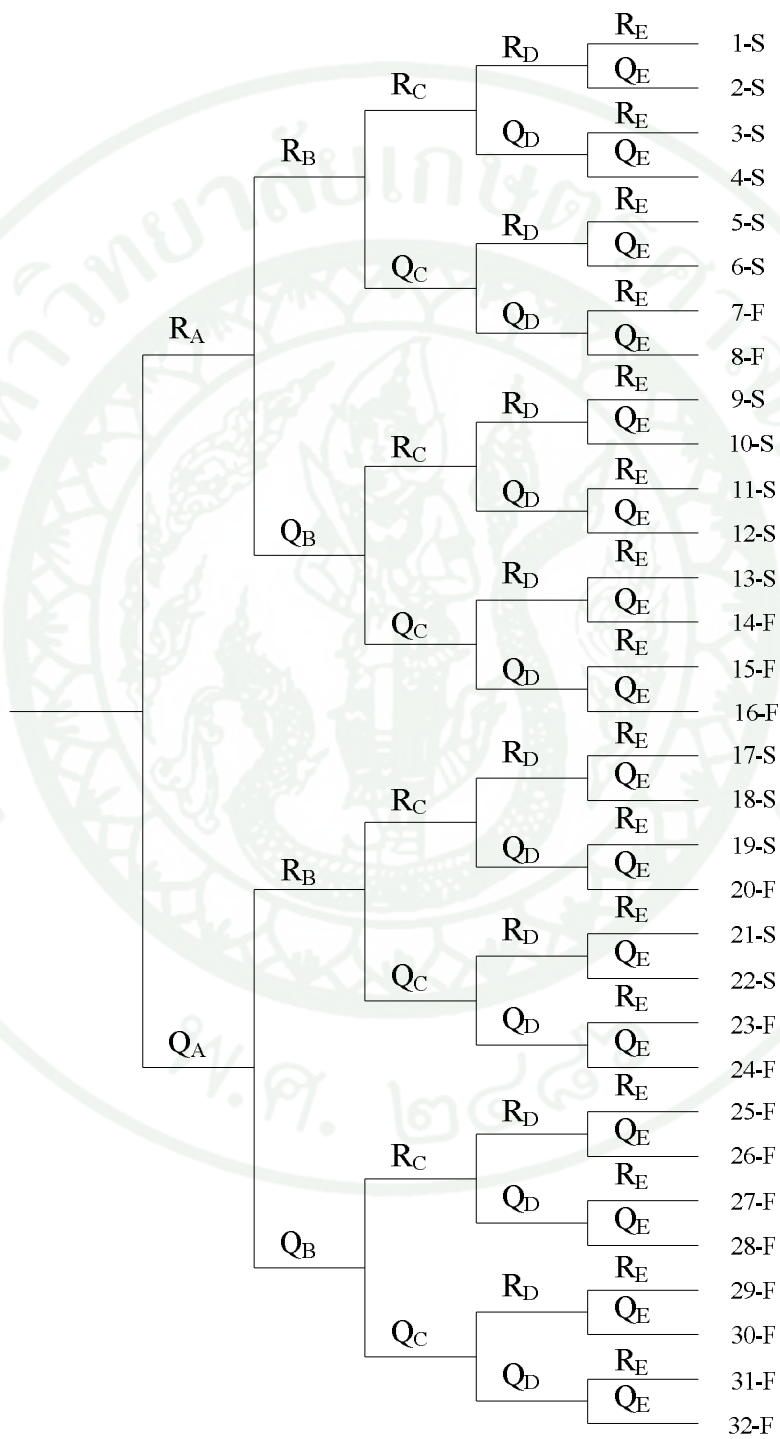
$$P(P_1) = R_A R_B R_C R_D R_E$$

$$P(P_2) = R_A R_B R_C R_D Q_E$$

และอื่นๆ

$$\begin{aligned} R_S = & P(P_1) + P(P_2) + P(P_3) + P(P_4) + P(P_5) + P(P_6) \\ & + P(P_9) + P(P_{10}) + P(P_{11}) + P(P_{12}) + P(P_{13}) \\ & + P(P_{17}) + P(P_{18}) + P(P_{19}) + P(P_{21}) + P(P_{22}) \end{aligned} \quad (30)$$

A	B	C	D	E
---	---	---	---	---



ภาพที่ 15 แผนผัง Event tree

ส่วนความเสี่ยงของระบบหาได้จากผลรวมของความน่าจะเป็นของเส้นทางที่มีรูปแบบเหตุการณ์ซับซ้อนดังสมการที่ (31)

$$Q_S = P(P_7) + P(P_8) + P(P_{14}) + P(P_{15}) + P(P_{16}) + P(P_{20}) \\ + P(P_{23}) + P(P_{24}) + P(P_{25}) + P(P_{26}) + P(P_{27}) \\ + P(P_{28}) + P(P_{29}) + P(P_{30}) + P(P_{31}) + P(P_{32}) \quad (31)$$

โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเชื่อถือได้และความเสี่ยงของระบบอธิบายได้จากสมการที่ (32)

$$R_S + Q_S = 1 \quad (32)$$

## 2.2 (Reduced event tree)

Event tree ของระบบที่มี 5 อุปกรณ์ ตามตัวอย่างก่อนหน้านี้มี 32 เส้นทาง และจำนวนเส้นทางจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ เช่น  $2^n$  โดย  $n$  คือ จำนวนอุปกรณ์ในระบบ ในกรณีนี้แต่ละอุปกรณ์สามารถเปลี่ยนสถานะได้ 2 สถานะ ซึ่งในกรณีอื่นๆ อุปกรณ์อาจมีมากกว่า 2 สถานะก็ได้

วิธี Event tree สามารถช่วยลดเส้นทางที่ไม่สนใจได้ โดยพิจารณาแต่ละอุปกรณ์ว่ามีอุปกรณ์ตัวใดบ้างที่เกี่ยวข้อง ผลลัพธ์ความน่าจะเป็นของเส้นทางก็จะลดน้อยลง ยกตัวอย่างเช่น ในตัวอย่างนี้ให้อุปกรณ์ A, B และ C ทำงานสำเร็จซึ่งจะถูกแทนด้วย  $R_A$ ,  $R_B$  และ  $R_C$  โดยไม่คำนึงถึงอุปกรณ์ D และ E ว่าจะทำงาน Success หรือ Failure เนื่องจากไม่มีผลต่อระบบการทำงาน เช่นเดียวกันเมื่อให้อุปกรณ์ A และ B ทำงาน Failure ระบบก็ไม่สามารถทำงานได้ โดยที่ไม่ต้องสนใจอุปกรณ์ C, D และ E ว่าจะทำงาน Success หรือ Failure เนื่องจากระบบไม่สามารถทำงานได้

ทั้งหมดที่กล่าวมานี้เป็นวิธี Event tree แบบเต็มรูปแบบที่แสดงดังภาพที่ 15 ส่วนภาพที่ 16 เป็นภาพที่จำนวนเหตุการณ์ถูกลดลงมาจากเดิมทั้งหมด 32 เส้นทาง ถูกลดลงเหลือ 13 เส้นทาง ความน่าจะเป็นของระบบสามารถถูกประเมินค่าในลักษณะเดียวกันกับสมการที่ (30)

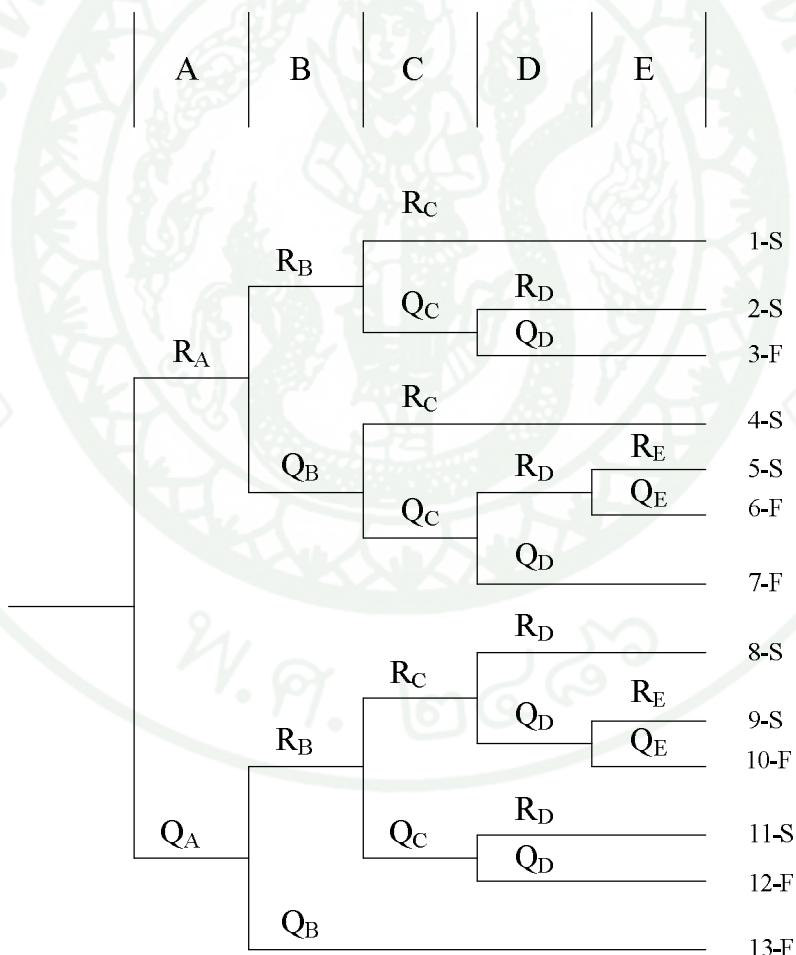
ดังนั้นความเชื่อถือได้ของระบบจึงเป็นไปตามสมการที่ (33)

$$R_S = R_A R_B R_C + R_A R_B Q_C R_D + R_A Q_B R_C + R_A Q_B Q_C R_D R_E + Q_A R_B R_C R_D + Q_A R_B R_C Q_D R_E + Q_A R_B Q_C R_D \quad (33)$$

การประเมินค่าความน่าจะเป็นสำหรับกรณีนี้ โดยให้อุปกรณ์ทุกตัวมีค่าความเชื่อถือได้เท่ากับ 0.99 ถ้า  $R_A = R_B = R_C = R_D = R_E = 0.99$  จะได้  $R_S = 0.999798$

ส่วนความเสี่ยงของระบบคำนวณได้จากสมการที่ (34)

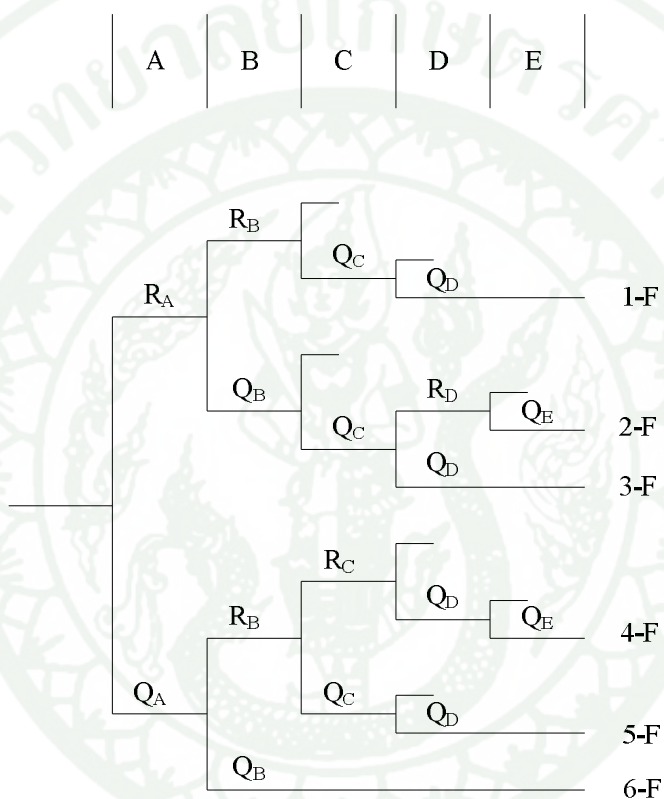
$$Q_S = R_A R_B Q_C Q_D + R_A Q_B Q_C R_D Q_E + R_A Q_B Q_C Q_D + Q_A R_B R_C Q_D Q_E + Q_A R_B Q_C Q_D + Q_A Q_B \quad (34)$$



ภาพที่ 16 การลดขนาด Event tree

โดย  $Q_S = 0.000202 = 1 - R_S$

ถ้าต้องการหาความน่าจะเป็นที่ระบบไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่สนใจใน  
 ที่นี้ จำนวนเส้นทางของเหตุการณ์ Event tree จะเหลือเพียง 6 เส้นทางจากเดิม 32 เส้นทาง แสดงดัง  
 ภาพที่ 17

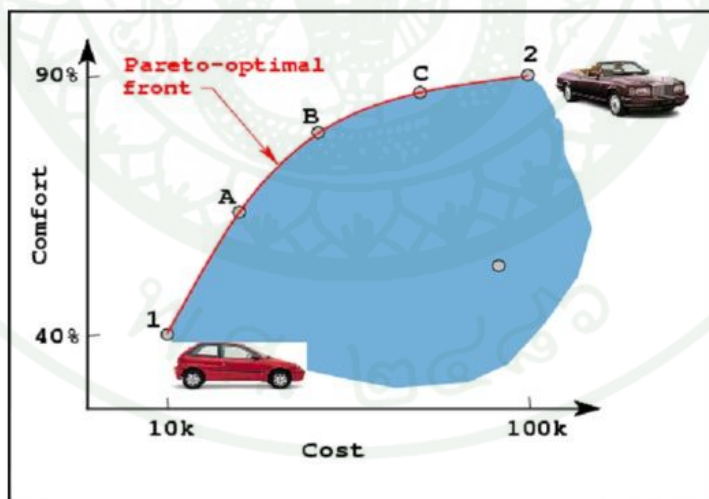


ภาพที่ 17 แผนผัง Event tree ของระบบที่ไม่สามารถทำงานได้

## วิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์

### 1. ความเป็นมา

ภริณยา และพุง (2555) หลายปัญหาในทางปฏิบัติไม่ว่าจะเป็นทางด้านอุตสาหกรรม หรือ แวดวงวิชาการนั้น มักจะเป็นปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ และแต่ละวัตถุประสงค์มักจะมี ความขัดแย้งกันอยู่ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะที่ต้องการคำตอบหลายคำตอบ แต่ละคำตอบอาจจะเป็นคำตอบที่เป็นคู่แข่งกัน ซึ่งรูปแบบคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้น จะมีลักษณะพิเศษ คือ เป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด โดยที่คำตอบแต่ละคำตอบนั้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา และไม่มีคำตอบอื่นครอบงำ (Dominate) เลย หรือที่เรียกว่า พारे โดฟรอน (Pareto front) ตัวอย่างปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ เช่น ปัญหาการจัดการผลิต ปัญหาการมอบหมายงาน หรือตัวอย่างปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ง่ายๆ ที่พบในชีวิตประจำวัน เช่น ปัญหาในการเลือกซื้อรถยนต์ ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 18 หากต้องการซื้อรถยนต์ ส่วนใหญ่จะพิจารณาในด้านของราคากับสมรรถนะของรถยนต์ ซึ่งสามารถสรุป วัตถุประสงค์ได้ 2 วัตถุประสงค์ คือ ต้องการราคาต่ำ ในขณะที่ต้องการสมรรถนะของรถสูง ซึ่งคำตอบที่ได้ไม่ได้มีเพียงแค่คำตอบเดียว เป็นต้น



ภาพที่ 18 ตัวอย่างปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์กรณีการเลือกซื้อรถยนต์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าขั้นตอนวิธีด้านวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithms) ได้รับความนิยมสำหรับการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

งานวิจัยที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนา และปรับปรุงอัลกอริธึมด้านวิวัฒนาการ จนได้กลายเป็นเทคโนโลยีสำคัญของการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ ที่รู้จักกันทั่วไปในยุคแรกๆ เช่น Vector Evolution Genetic Algorithm (VEGA) (Schaffer, 1985) เป็นต้น นอกจากนี้วิธีการที่กล่าวมานี้ ยังคงมีอีกหลายวิธีที่ใช้งานในลักษณะเดียวกัน

## 2. ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ ควรต้องมีการศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ในส่วนนี้จะกล่าวถึงหัวข้อหลักๆ 2 หัวข้อ ได้แก่ หลักการพื้นฐานของการหาค่าเหมาะสมที่สุด และลักษณะของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1 หลักการพื้นฐานของการหาค่าเหมาะสมที่สุด

การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนดขึ้น การหาค่าเหมาะสมที่สุดถือว่าเป็นสิ่งที่ช่วยในการแก้ปัญหาในด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ ปัญญาประดิษฐ์ การวิจัยการดำเนินงาน และสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี (ปารเมศ และคณะ, 2550) ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือ ฟังก์ชันเป้าหมาย คือ การหาค่าเหมาะสมที่สุดที่พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงวัตถุประสงค์เดียว (Single Objective Optimization Problem) ส่วนปัญหาที่พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากกว่า 1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์พร้อมๆ กัน ในรูปแบบปัญหาลักษณะนี้อาจมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีความขัดแย้งกันหรือเป็นไปในแนวทางเดียวกัน และเรียกว่าเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization Problem) หรือปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่พิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Optimization Problem) หรือปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบเวกเตอร์ (Vector Optimization Problem) ซึ่งการหาค่าเหมาะสมที่สุดนี้จะประกอบด้วย เวกเตอร์ตัวแปรตัดสินใจ (Vector of Decision Variable) ข้อจำกัด (Constraints) และเวกเตอร์ฟังก์ชัน (Vector Function) ที่สามารถเรียกว่าเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) โดยมากฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเกี่ยวข้องกับการหาค่ามากที่สุด (Maximization) หรือน้อยที่สุด (Minimization) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้น

## 2.2 ลักษณะของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

การแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์เป็นการค้นหาเซตคำตอบภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ เพื่อต้องการหาค่าที่ต่ำที่สุด หรือค่าสูงสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในแต่ละฟังก์ชันพร้อมๆ กัน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา เรียกว่า เซตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ เป็นปัญหาการออกแบบที่มีหลายวัตถุประสงค์ ประกอบด้วย  $m$  วัตถุประสงค์ และตัวแปรตัดสินใจ (Konak *et al.*, 2006) เขียนอยู่ในรูปทั่วไปดังสมการที่ (35)

$$\text{Minimize (or maximize): } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\} \quad (35)$$

เมื่อ  $x$  คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

$f_i(x)$  คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่  $i$  เมื่อ  $i = 1, 2, \dots, m$

ดังนั้นรูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ จะเป็นการค้นหาเวกเตอร์คำตอบ  $x$  ภายใต้  $m$  ข้อจำกัดแบบอสมการดังสมการที่ (36) หรือภายใต้  $n$  ข้อจำกัดแบบสมการดังสมการที่ (37) ซึ่งจะเป็นการกำหนดขอบเขตพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

$$g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m \quad (36)$$

$$h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (37)$$

ปกติโดยทั่วไปรูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ มี 3 รูปแบบที่เป็นไปได้ ดังนี้

- 1) ทุกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องการหาค่าตอบที่น้อยที่สุด
- 2) ทุกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องการหาค่าตอบที่มากที่สุด

3) แบบขัดแย้งกัน คือบางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องการหาค่าตอบที่น้อยที่สุด บางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องการหาค่าตอบที่มากที่สุด

ในการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์สามารถแปลงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีรูปแบบเป็นการหาค่าตอบที่น้อยที่สุดหรือมากที่สุดได้ ตัวอย่างเช่น การแปลงทุกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีการหาค่าตอบที่น้อยที่สุดให้เป็นรูปแบบการหาค่าตอบที่มากที่สุด เป็นต้น สำหรับตัวอย่างคำตอบจากปัญหาการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในที่นี่เป็นการหาค่าตอบที่น้อยที่สุด ดังสมการที่ (38) ซึ่งการค้นหาค่าตอบจะถูกกำหนดจากเวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ ภายใต้ข้อจำกัดที่จะเป็นสิ่งที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตที่น้อยที่สุด

$$\text{Minimize } \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\} \quad (38)$$

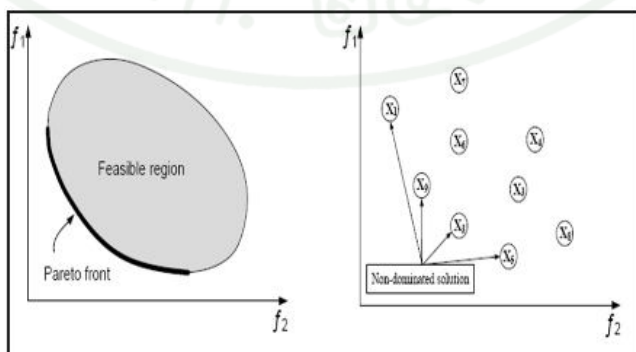
ข้อจำกัด  $g(x) \leq 0$

โดยที่  $x$  คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

$f_i(x)$  คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่  $i$

$g_i(x)$  คือ เวกเตอร์ข้อจำกัดที่  $i$

ซึ่งคำตอบอยู่ในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ เป็นคำตอบที่ไม่มีคำตอบใดดีกว่า หรือไม่มีคำตอบใดที่สามารถครอบงำชุดคำตอบนี้ได้ จะเรียกสมาชิกคำตอบทุกคำตอบที่อยู่ในกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดว่า เซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set) หรือเซตคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำจากทุกคำตอบ (Non-dominated Set) แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 พารेटอฟรอนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์  $f_1$  และ  $f_2$

Fonseca and Fleming (1998) ได้ให้คำนิยามของการครอบงำแบบพาเรโต (Pareto Dominance) และคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบพาเรโต (Pareto Optimality) ไว้ดังนี้

นิยาม 1: การครอบงำแบบพาเรโต

ให้เวกเตอร์วัตถุประสงค์  $u = (u_1, \dots, u_m)$  ซึ่งครอบงำ  $v = (v_1, \dots, v_m)$  ก็ต่อเมื่อ  $u$  น้อยกว่า  $v$  บางส่วน ดังสมการที่ (39)

$$\forall i \in \{1, \dots, m\}, u_i \leq v_i \wedge \exists j \in \{1, \dots, m\} : u_j < v_j \quad (39)$$

นิยามเกี่ยวกับการครอบงำดูจากค่าของจุดประสงค์เวกเตอร์  $u$  ครอบงำเวกเตอร์  $v$  ก็ต่อเมื่อในแต่ละจุดประสงค์ ค่าของ  $u$  ดีกว่าหรือเท่ากับค่าของ  $v$  และ อย่างน้อยหนึ่งกรณีที่ค่าของ  $u$  มีค่าดีกว่า  $v$

นิยาม 2: คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบพาเรโต โขงูชัน  $x_u \in [a, b]$  เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบพาเรโตถ้าไม่สามารถหาคำตอบ  $x_v \in [a, b]$  ซึ่ง  $v = f(x_v)$  ครอบงำ  $u = f(x_u)$

### 3. การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยขั้นตอนวิธีด้านวิวัฒนาการ

ขั้นตอนวิธีด้านวิวัฒนาการได้นำมาประยุกต์ใช้ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่มีลักษณะการกระจายแบบสม่ำเสมอและใกล้เคียงกับขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง ซึ่งถือว่ามีความซับซ้อนมากกว่าปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบวัตถุประสงค์เดียว ซึ่งในตอนนี้จะกล่าวถึง ขั้นตอนวิธีด้านวิวัฒนาการ และ การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ รายละเอียดดังนี้

#### 3.1 การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

จากขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีด้านวิวัฒนาการสิ่งที่สำคัญสำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือ การกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับสมาชิกของกลุ่ม

ประชากรแต่ละตัวได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีการกำหนดค่าความเหมาะสมในปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ สามารถสรุปหลักๆ ได้ 4 วิธีดังต่อไปนี้

3.1.1 วิธีการคำนวณค่าแบบเวกเตอร์ (Vector Evaluation Approach) เป็นวิธีการกำหนดค่าเหมาะสมวิธีแรกที่ขยายผลให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

3.1.2 วิธีโกล์โปรแกรมมิ่ง (Goal Programming Approach) วิธีการนี้อาศัยการจัดอันดับเพื่อประเมินความสามารถของสมาชิกคำตอบ

3.1.3 วิธีการรวมฟังก์ชัน โดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและง่ายต่อการนำไปใช้ วิธีการนี้อาศัยการให้น้ำหนักกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละอย่าง แล้วนำเอาน้ำหนักและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมดมารวมกัน

3.1.4 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) วิธีการนี้จะใช้การจัดอันดับแบบพารेटอ ในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าความเหมาะสม โดยใช้หลักการครอบงำแบบพารेटอ เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสม สำหรับวิธีการกำหนดค่าความเหมาะสมแบบนี้จะทำให้มีคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหามากกว่าหนึ่งคำตอบ และอยู่ในรูปแบบที่เป็นเซตหรือกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

3.2 กระบวนการทำงานของ MOGA เป็นไปตามขั้นตอนดังนี้ (กิตติพงศ์, 2554)

1) สร้างกลุ่มของประชากรของคำตอบเริ่มต้น โดยการสุ่ม โดยคำตอบจะเข้ารหัสซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นตัวเลขเช่น เข้ารหัสเป็นเลขฐานสอง เลขจำนวนเต็ม และเลขจำนวนเต็ม โดยแต่ละคำตอบจะแทนด้วย กลุ่มตัวเลขที่ต่อกัน ซึ่งจะเรียกว่า โครโมโซม

2) ทำการถอดรหัสของโครโมโซมทั้งหมดในกลุ่มประชากรเพื่อที่จะได้กลุ่มคำตอบของปัญหาที่พิจารณา

3) หลังจากได้คำตอบที่มาจากถอดรหัส ทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละคำตอบในกลุ่มประชากรทั้งหมด

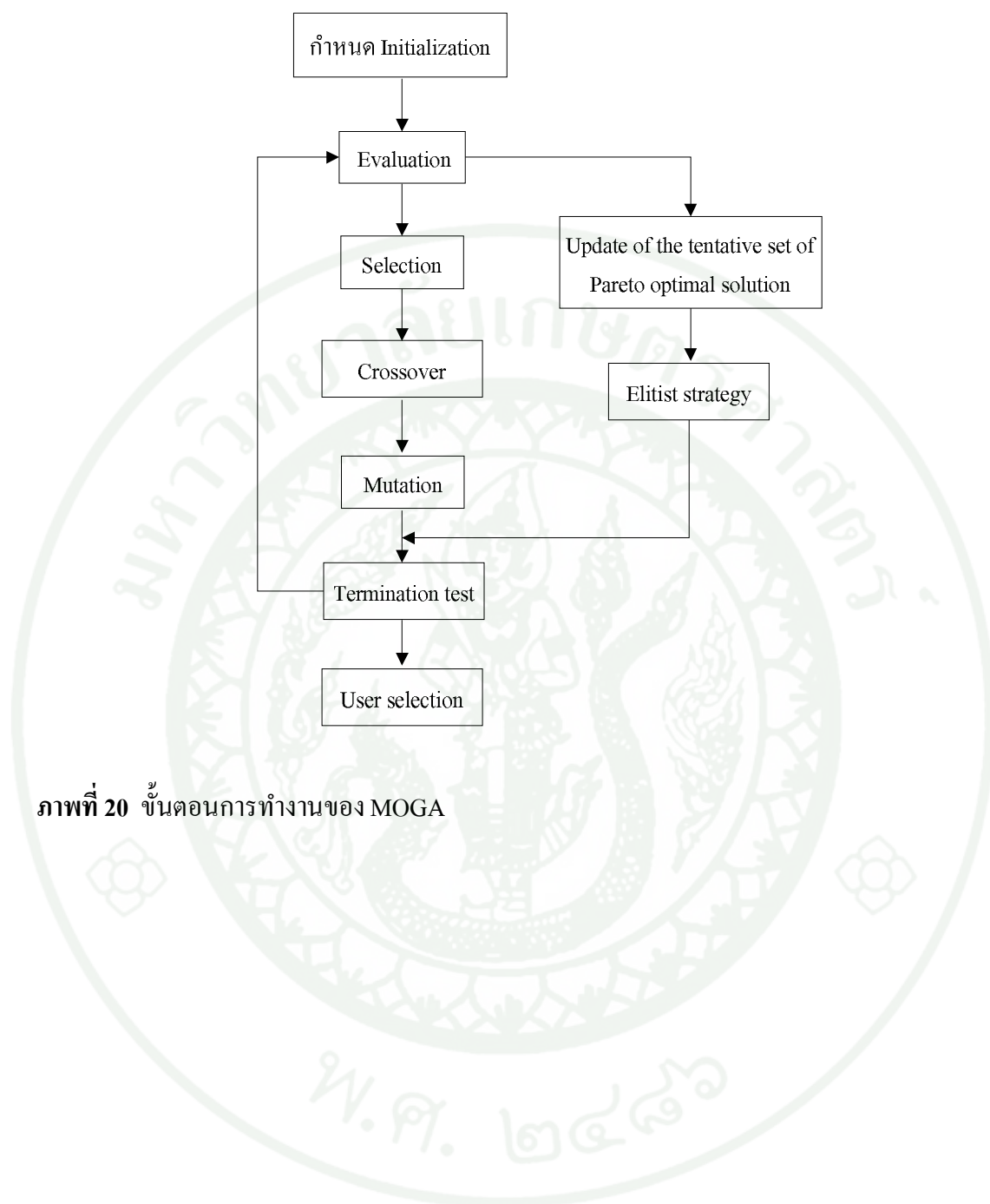
4) ทำการคำนวณค่าความเหมาะสมของแต่ละคำตอบโดยใช้ค่าวัตถุประสงค์ที่ได้มา โดยใช้การครอบงำแบบพारेโต (Pareto optimal solution) [Multi-Objective Genetic Algorithms : MOAG] โดยที่ขั้นตอนการทำงานของ MOGA ถูกสรุปไว้ในภาพที่ 20

5) เลือกกลุ่มประชากรรุ่นพ่อแม่จากกลุ่มประชากรรุ่นปัจจุบัน โดยในการเลือกนั้นจะใช้ค่าความเหมาะสมเป็นตัวบ่งชี้ว่าจะเลือกคำตอบใดจากประชากรปัจจุบันนี้

6) ทำการเปลี่ยนแปลงกลุ่มประชากรรุ่นพ่อแม่ด้วยใช้ตัวดำเนินการพันธุกรรม ซึ่งก็คือ การสลับสายพันธุ (Crossover) และการกลายพันธุ (Mutation)

7) ดูว่าการคำนวณนั้นครบจำนวนสูงสุดของคำตอบที่ต้องการ และคำนวณค่าฟังก์ชันหรือจำนวนเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้ทำขั้นตอนที่ 2-6 ถ้าใช่ให้หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ (Stop)

8) แสดงเซตของพारेโตซึ่งเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto front)



ภาพที่ 20 ขั้นตอนการทำงานของ MOGA

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับทำวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

1. โปรแกรม Microsoft Office (Words, Excel, PowerPoint)
2. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิศวกรรม คณิตศาสตร์ MATLAB ในวิทยานิพนธ์นำมาใช้เขียนโปรแกรมแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective Genetic Algorithms)

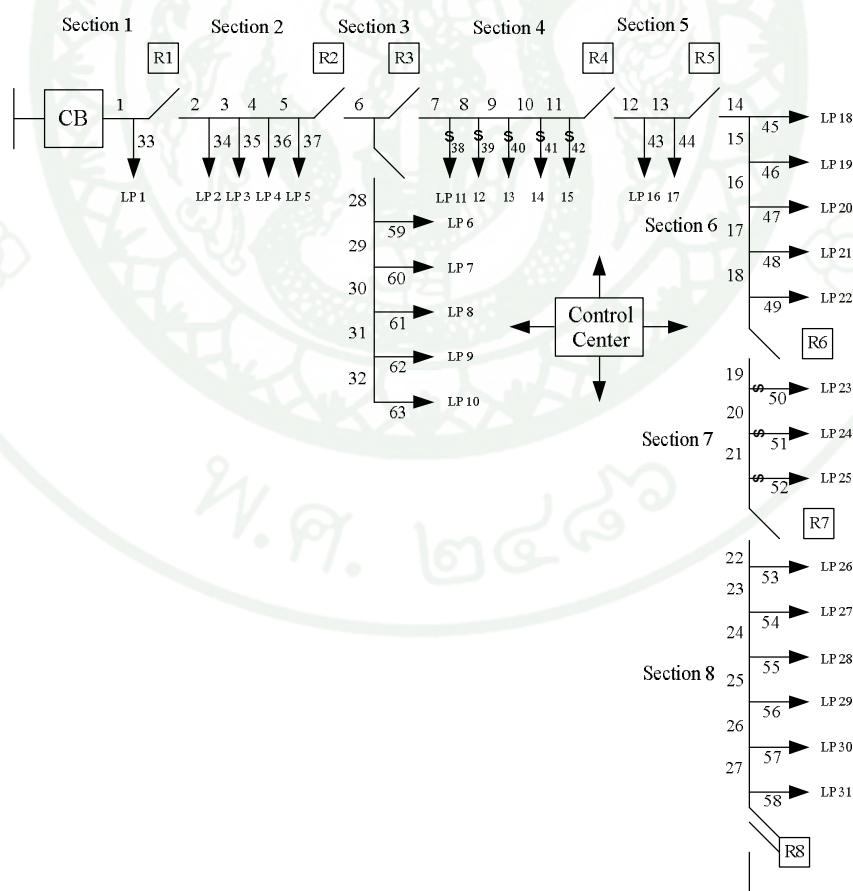
## วิธีการ

### 1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริงของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ถูกนำมาใช้ในการอธิบายแนวคิด และวิธีการที่นำเสนอ

#### 1.1 กรณีศึกษาระบบจริงของการไฟฟ้านครหลวง

วิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ถูกนำมาอธิบาย และทดสอบกับระบบของการไฟฟ้านครหลวงสายป้อนพัฒนาการ (PTN411) ดังภาพที่ 21 และฟีดเดอร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (KWA06) ดังภาพที่ 22 และได้คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบดังกล่าว



ภาพที่ 21 ระบบของการไฟฟ้านครหลวงสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)

ตารางที่ 3 ข้อมูลของระบบของการไฟฟ้านครหลวงสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)

Line	Length (m)	r (h)	t <sub>ms</sub> (h)	Line	Length (m)	r (h)	t <sub>ms</sub> (h)	Line	Length (m)	r (h)	t <sub>ms</sub> (h)
1	50	5	1	27	20	5	1	53	3700	5	1
2	315	5	1	28	90	5	1	54	210	5	1
3	160	5	1	29	40	5	1	55	300	5	1
4	720	5	1	30	30	5	1	56	450	5	1
5	135	5	1	31	20	5	1	57	360	5	1
6	40	5	1	32	10	5	1	58	680	5	1
7	1420	5	1	33	0	5	1	59	250	5	1
8	1560	5	1	34	320	5	1	60	10	5	1
9	123	5	1	35	450	5	1	61	70	5	1
10	1860	5	1	36	210	5	1	62	250	5	1
11	6500	5	1	37	260	5	1	63	550	5	1
12	1440	5	1	38	180	5	1				
13	60	5	1	39	680	5	1				
14	125	5	1	40	750	5	1				
15	234	5	1	41	810	5	1				
16	712	5	1	42	230	5	1				
17	368	5	1	43	910	5	1				
18	415	5	1	44	250	5	1				
19	350	5	1	45	230	5	1				
20	110	5	1	46	160	5	1				
21	180	5	1	47	140	5	1				
22	265	5	1	48	230	5	1				
23	90	5	1	49	650	5	1				
24	115	5	1	50	120	5	1				
25	10	5	1	51	560	5	1				
26	850	5	1	52	120	5	1				

ตารางที่ 4 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)

LP	$N_i$	$L_a$ (kW)	LP	$N_i$	$L_a$ (kW)
1	0	0	17	723	89
2	30	95.625	18	890	45
3	150	1275	19	127	56
4	60	6158.25	20	68	78
5	90	2465	21	198	65
6	80	26915.25	22	264	34
7	300	24	23	369	67
8	645	56	24	1800	23
9	725	34	25	170	90
10	1027	67	26	545	67
11	563	89	27	267	78
12	1018	23	28	369	45
13	235	690	29	225	65
14	432	4332	30	912	76
15	785	89	31	820	12
16	1365	654	$\lambda = 0.1$ ครั้ง/กิโลเมตร/ปี		

โดยที่  $\lambda$  คือ อัตราการล้มเหลว (ครั้ง/กิโลเมตร/ปี)

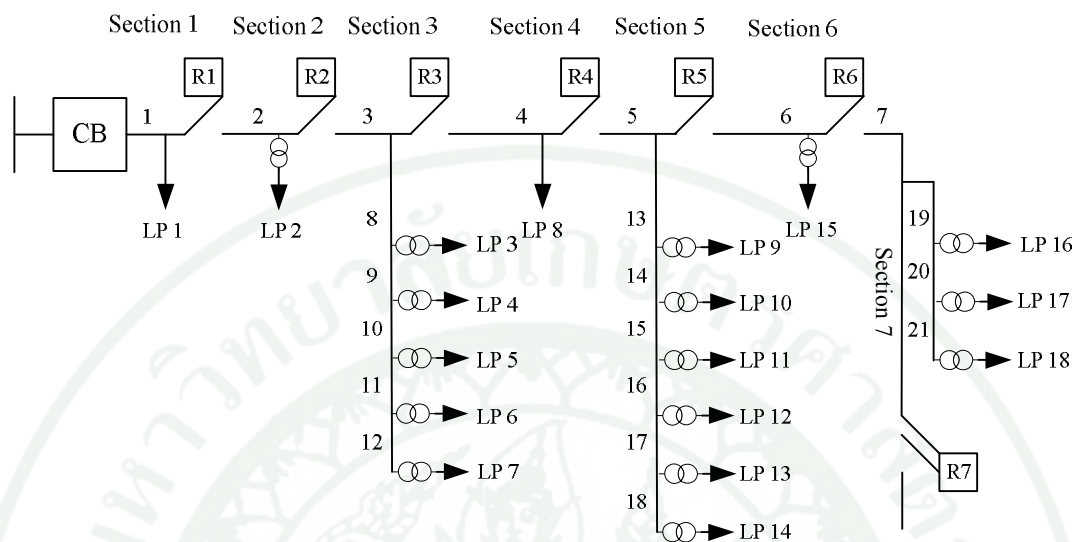
$r$  คือ เวลาการซ่อม (ชั่วโมง)

$t_{ms}$  คือ เวลาที่ใช้ในการสับสวิตช์ใบมีด (ชั่วโมง)

$N_i$  คือ จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดโหลด

$L_{av(i)}$  คือ ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละจุดโหลด (กิโลวัตต์)

## 1.2 กรณีศึกษาระบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



ภาพที่ 22 ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไฟเคอร์คองวาน (KWA06)

ตารางที่ 5 ข้อมูลของระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคฟิดเดอร์คลองขวาน (KWA06)

Line	Length (m)	r (h)	t <sub>ms</sub> (h)	Line	Length (m)	r (h)	t <sub>ms</sub> (h)	Line	Length (m)	r (h)	t <sub>ms</sub> (h)
1	1443	5	1	8	854	5	1	15	466	5	1
2	2385	5	1	9	17	5	1	16	91	5	1
3	1069	5	1	10	222	5	1	17	166	5	1
4	508	5	1	11	518	5	1	18	319	5	1
5	64	5	1	12	81	5	1	19	394	5	1
6	505	5	1	13	312	5	1	20	693	5	1
7	130	5	1	14	51	5	1	21	430	5	1

ตารางที่ 6 ข้อมูลเกี่ยวกับผู้ใช้ไฟฟ้าของฟิดเดอร์คลองขวาน (KWA06)

LP	N <sub>i</sub>	L <sub>a</sub> (kW)	LP	N <sub>i</sub>	L <sub>a</sub> (kW)
1	1	3	10	1	100.5
2	105	32.5	11	1	1700
3	31	90.75	12	31	9000.75
4	1	1810.25	13	84	2500
5	31	300.75	14	1	560
6	31	9000.75	15	1	175
7	21	250	16	1	22.75
8	1	450.5	17	1	17.5
9	21	140.5	18	1	350
λ (Tr) = 0.015 ครั้ง/ปี r = 1 h			λ = 0.37 ครั้ง/กิโลเมตร/ปี		

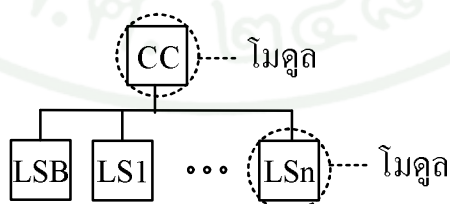
หลังจากได้สร้างแบบจำลองแล้ว งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีจำลองเปิดเจ็ทไฟ เจเนติกอัลกอริทึม เพื่อหาดำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง LBS (Load Break Switch) บนสายป้อน โดยคำนึงถึง

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน และความเชื่อถือได้ของระบบร่วมกัน ผ่านระบบทดสอบซึ่งได้แก่สายป้อน PTN411 ของการไฟฟ้านครหลวง เขตบางกะปิ และฟีดเคอร์ KWA06 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบ DMS ที่ต้องพิจารณาโอกาสการเกิดการขัดข้องของ Control center, Communication, RTU และ LBS โดยจะดำเนินการแยกวิเคราะห์เป็นโมดูล และให้ Local system (LS) เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของระบบ DMS ที่ประกอบไปด้วย RTU, Communication Units ซึ่ง Communication ได้ถูกติดตั้งในระบบ Local system ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบ real-time และใช้วิธี Event tree มาวิเคราะห์ ซึ่งข้อดีของวิธี Event tree ก็จะได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูง เนื่องจากการพิจารณาครอบคลุมทุกกรณี และมีการพิจารณาเป็นลำดับขั้นตอน เช่น เมื่อ LBS ตัวที่ใกล้ฟอลต์ที่สุดในระบบเกิดชำรุดขึ้นมา สามารถพิจารณา LBS ตัวถัดไปได้ทันที เพื่อไม่ให้ไฟดับในแนวกว้าง จะวิเคราะห์โดยเรียงตามลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ผลของการ restoration จะสำเร็จหรือไม่สำเร็จขึ้นอยู่กับระบบควบคุมที่แยกเป็น โมดูล เมื่อทำสำเร็จก็จะได้ผลลัพธ์ที่หลากหลาย และสามารถคำนวณความน่าจะเป็นที่สามารถจ่ายไฟกลับมายังผู้ใช้ไฟได้ ส่วนถ้าไม่สำเร็จก็ต้องมีการซ่อมแซมต่อไป โดยการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายจะใช้วิธี FMEA

ขั้นตอนที่ 1 แยกระบบ DMS เป็นโมดูล โดยมีส่วนประกอบแต่ละโมดูล เช่น โมดูล LS1 ประกอบด้วย Communication, RTU และ LBS โดยแต่ละโมดูลจะอิสระต่อกัน มีหน้าที่การทำงานต่างกัน ซึ่งระบบโมดูลของ DMS สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 23



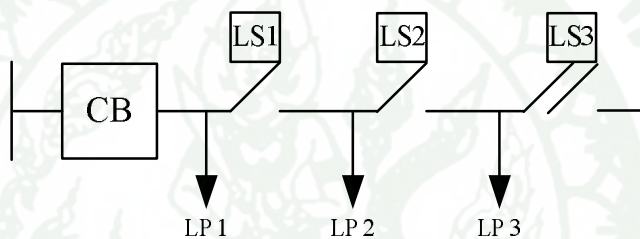
ภาพที่ 23 ตัวอย่างระบบโมดูลของ DMS

CC = Control Center

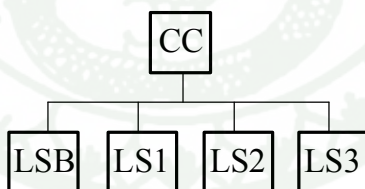
LSB = Local System of Breaker

LSi = Local System of Switch i

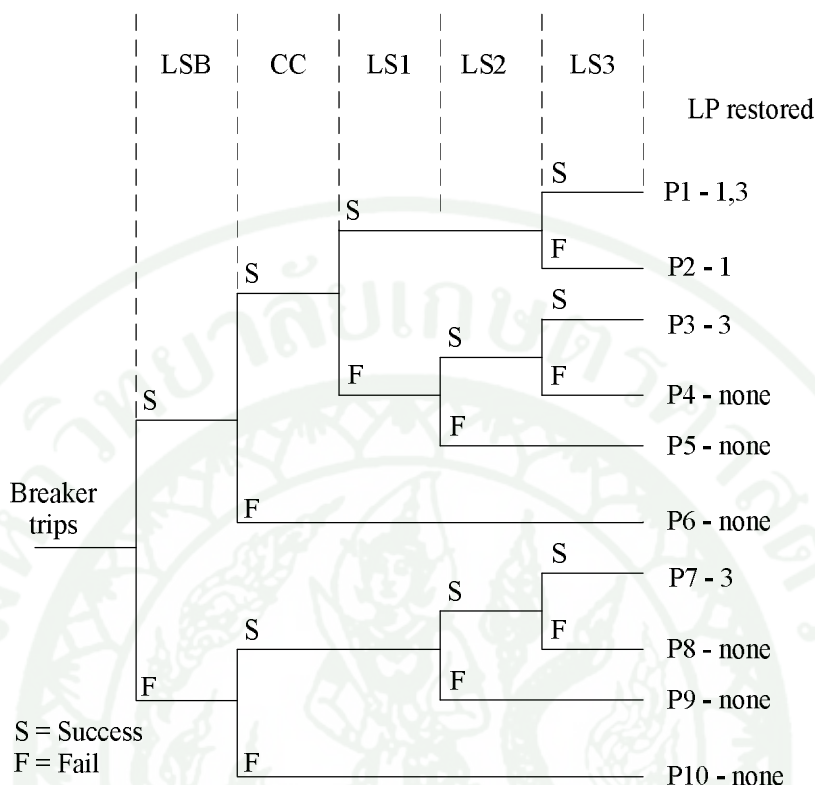
ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทำงานหลังจากเกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ เมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องของอุปกรณ์ ระบบควบคุมจะทำหน้าที่แยก section ที่เกิดฟอลต์ออกไป และทำการจ่ายไฟกลับอย่างรวดเร็วให้ส่วนที่ไม่เกิดฟอลต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธี Event tree เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์การทำงานของโมดูลต่างๆ ในระบบควบคุมที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายไฟกลับให้แก่ระบบจำหน่าย ตัวอย่างวงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียลแสดงดังภาพที่ 24 เมื่อนำมาพิจารณาในรูปแบบโมดูลของระบบ DMS ประกอบด้วย 5 โมดูล แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 24 วงจรของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล



ภาพที่ 25 ตัวอย่างระบบ DMS ประกอบด้วย 5 โมดูล



ภาพที่ 26 ตัวอย่างระบบควบคุม ที่วิเคราะห์โดยใช้ Event tree สำหรับ Fault ที่เกิดใน section 1

ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุม เมื่อเกิดการขัดข้องภายในระบบควบคุม ระบบควบคุมจะทำงานตามลำดับของโมดูลที่กำหนดไว้ ในภาพที่ 26 มีการเรียงโมดูลดังนี้ LSB, CC, LS1, LS2 และ LS3 โดยวิธี Event tree จะพิจารณาตามลำดับการทำงานของโมดูล เช่น เมื่อ LS1 ขัดข้องไม่สามารถทำงานได้ ระบบ DMS จะพยายามจ่ายไฟกลับให้กับลูกค้า เพื่อให้ลูกค้ากลับมาใช้ไฟฟ้าได้เร็วที่สุด โดยระบบควบคุมจะทำการส่งสัญญาณผ่าน LS ตัวถัดไปทันที ซึ่งแต่ละโมดูลจะมีความน่าจะเป็นที่ทำงานสำเร็จ ทั้งหมดนี้สามารถหาความน่าจะเป็นของแต่ละรูปแบบเหตุการณ์เกิดฟอลต์ได้ ดังภาพที่ 26 ซึ่งเป็นตัวอย่างทางรูปแบบเหตุการณ์เมื่อเกิดฟอลต์ที่ section 1

ขั้นตอนที่ 3 วิธี Event tree ได้แสดงลำดับเหตุการณ์ และแสดงผลลัพธ์ที่สนใจทั้งหมดของการทำงานของระบบควบคุม โดยมีค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเส้นทาง สำหรับตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดใน section1 ดังนี้

$$\begin{aligned}
P(P_1) &= S_{LSB} S_{CC} S_{LS1} S_{LS3} \\
P(P_2) &= S_{LSB} S_{CC} S_{LS1} F_{LS3} \\
P(P_3) &= S_{LSB} S_{CC} F_{LS1} S_{LS2} S_{LS3} \\
P(P_4) &= S_{LSB} S_{CC} F_{LS1} S_{LS2} F_{LS3} \\
P(P_5) &= S_{LSB} S_{CC} F_{LS1} F_{LS2} \\
P(P_6) &= S_{LSB} F_{CC} \\
P(P_7) &= F_{LSB} S_{CC} S_{LS2} S_{LS3} \\
P(P_8) &= F_{LSB} S_{CC} S_{LS2} F_{LS3} \\
P(P_9) &= F_{LSB} S_{CC} F_{LS2} \\
P(P_{10}) &= F_{LSB} F_{CC}
\end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 4 กำหนด restoration time ของแต่ละส่วน เมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องจะแยกผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก restoration ได้ ส่วนกลุ่มสอง ไม่สามารถ restoration ได้ สำหรับกลุ่มแรกได้แบ่งเป็น 2 กรณี กรณีแรก ระบบควบคุมพร้อมที่จะทำงานและสั่งให้ LBS ทำงาน กรณีสอง ระบบควบคุมไม่พร้อมที่จะทำงานและต้องทำงานโดยสวิตช์ตัดตอน ความหมายของระบบอัตโนมัติที่จะ restoration กำหนดไว้ว่า สำหรับผู้ใช้ไฟในกลุ่มแรก ถ้าระบบอัตโนมัติทำงานสำเร็จเวลาการ restoration จะเท่ากับ automatic switching time และถ้าระบบอัตโนมัติขัดข้องเวลาการ restoration จะเท่ากับ manual switching time สำหรับผู้ใช้ไฟในกลุ่มสอง ระยะเวลาไฟดับเท่ากับ repair time โดยค่านี้ได้จากการเก็บสถิติของการไฟฟ้า

ในกลุ่มแรก ค่าเฉลี่ยของ restoration time สามารถประเมินค่าได้ โดย  $r$  คือ เวลาในการ restoration หน่วยเป็นชั่วโมง ดังสมการ (40)

$$\begin{aligned}
r &= (\text{auto} - \text{switching} - \text{time} \mid \text{automation success}) \\
&\quad * P(\text{automation success}) \\
&\quad + (\text{manual} - \text{switching} - \text{time} \mid \text{automation fail}) \\
&\quad * P(\text{automation fail})
\end{aligned} \tag{40}$$

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาดัชนีความเชื่อถือได้

การพิจารณาดัชนีความเชื่อถือได้ประกอบด้วยลำดับดังต่อไปนี้

- 1 พิจารณาระบบ DMS เป็น โมดูล เพื่อหาเวลาในการ restoration จากสมการที่ (40) โดยได้จากขั้นตอนที่ 2-4 ข้างต้น
- 2 พิจารณาทุกรูปแบบเหตุการณ์ไฟฟ้าดับที่อาจเกิดขึ้นในระบบจำหน่าย ไม่ว่าจะเป็นที่สายป้อนหลักหรือสายป้อนย่อย
- 3 คำนวณจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบในแต่ละรูปแบบเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ
- 4 คำนวณระยะเวลาไฟฟ้าดับของแต่ละจุดโหลดที่ได้รับผลกระทบจากรูปแบบเหตุการณ์ไฟฟ้าดับต่างๆ ซึ่งขึ้นกับเวลาในการ restoration จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจ
- 5 คำนวณมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจ (System Expected Outage Cost to Customers Due to Supply Outage, ECOST) โดยมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของโหลด ระยะเวลาที่ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ และอัตราการล้มเหลวเฉลี่ยของอุปกรณ์

โดยขั้นตอนการคำนวณค่า ECOST ในระบบจำหน่าย จะพิจารณาจากสมการที่ (41)

$$ECOST = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} \sum_{k=1}^{n_k} L_{ik} C_{jk} (r_j) \lambda_j \quad (41)$$

โดยที่

$n_i$  คือ จำนวนระดับของความต้องการกำลังไฟฟ้า

$n_j$  คือ จำนวนรูปแบบเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ

$n_k$  คือ จำนวนของจุดโหลดที่ได้รับผลกระทบในช่วงที่ไฟฟ้าดับ

$L_{ik}$  คือ ค่าความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่ระดับ  $i$  ของจุดโหลด  $k$

$r_j$  คือ ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของรูปแบบเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่  $j$

$C_{jk}$  คือ ค่าความเสียหายเมื่อเกิดระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของรูปแบบเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่  $j$  ของจุดโหลด  $k$

$\lambda_j$  คือ อัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดรูปแบบเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่  $j$

การใช้วิธี MOGA (Multi Objective Genetic Algorithms) ในการหาจำนวน และตำแหน่ง ติดตั้งสวิตช์อัตโนมัติ (LBS) ที่เหมาะสมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ดังสมการที่ (42) และ (43) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

$$f_1 = ECOST \quad (42)$$

$$f_2 = Installation Cost \quad (43)$$

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสร้างประชากรค่าตอบเบื้องต้น (Initialization Population) อันเกิดจากการสุ่ม (Random)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของประชากรค่าตอบ (Evaluation Of Objective Function) โดยนำตำแหน่งที่ติดตั้งสวิตช์อัตโนมัติ (LBS) และ จำนวนสวิตช์อัตโนมัติ (LBS) มาคำนวณหาค่าฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ที่เป็นผลมาจากสมการ (42) และ (43) ซึ่งได้แสดงไว้ในสมการที่ (44) โดยกำหนดให้ค่าติดตั้งสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ (LBS) ตัวละ 200,000 บาท

$$Minimize W_1 \cdot ECOST + W_2 \cdot \sum_{m=1}^{ns} Installation Cost_m \quad (44)$$

โดยที่

$ns$  คือ จำนวนสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติที่ติดตั้งในระบบจำหน่าย

$Installation Cost_m$  คือ ค่าติดตั้งของสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติตัวที่  $m$

$W_1$  คือ Weight 1 หรือ ค่าน้ำหนักที่ 1

$W_2$  คือ Weight 2 หรือ ค่าน้ำหนักที่ 2

ขอบเขตของตัวแปรในกรณีนี้คือ ติดสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ หรือติดสวิตช์ตัดตอน (ไบนารี) จึงกำหนดให้มีเพียง 2 ตัวแปร คือ 0 และ 1 โดยให้ 0 คือ การติดสวิตช์ตัดตอน (ไบนารี) และ 1 คือ การติดสวิตช์ตัดตอนอัตโนมัติ (LBS)

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness Assignment) ในสมการที่ (44) โดยใช้วิธีการรวมฟังก์ชัน โดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) วิธีนี้อาศัยการให้น้ำหนักกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์ ซึ่งในที่นี้มี 2 วัตถุประสงค์ โดยจะมีการสุ่มค่า Weight 1 และ Weight 2 โดยมีเงื่อนไขว่า Weight 1 และ Weight 2 รวมกันต้องมีค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 4 นำค่าที่สุ่มได้มาคำนวณหาค่าฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในสมการที่ (44)

ขั้นตอนที่ 5 การคัดเลือกคำตอบ (Selection) มาคัดเลือกโดยดูจากค่าความเหมาะสม (Fitness Value) เพื่อนำไปเป็นโครโมโซมพ่อแม่

ขั้นตอนที่ 6 การแลกเปลี่ยนพันธุกรรม (Crossover) เป็นกระบวนการที่ไขว้เปลี่ยนของโครโมโซม เพื่อให้เกิดคำตอบใหม่ขึ้น

ขั้นตอนที่ 7 กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) มักจะเกิดหลังจากกระบวนการไขว้เปลี่ยนโครโมโซม จะสุ่มเลือกตำแหน่งบนโครโมโซมอย่างมาก 1 ตำแหน่ง เพื่อให้เกิดคำตอบใหม่ขึ้น

ขั้นตอนที่ 8 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ทำการคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมสูง

ขั้นตอนที่ 9 การแทนที่ประชากร (Population Replacement) โดยทำการรวมโครโมโซมคำตอบจากโครโมโซมเริ่มต้น และโครโมโซมรุ่นลูก จะนำมาทำการรวมกัน และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดเท่ากับจำนวนโครโมโซมเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 10 เมื่อครบรอบตามที่กำหนดไว้จะได้ค่าที่ดีที่สุด สำหรับ Weight 1 และ Weight 2 ในชุดนี้ จากนั้นทำการเก็บค่า ECOST และ Installation Cost จะได้คู่ลำดับขึ้นมา เพื่อที่จะนำมา Plot Pareto front ในอนาคต

ขั้นตอนที่ 11 ตรวจสอบว่าค่าน้ำหนัก Weight 1 และ Weight 2 ได้มีการปรับเปลี่ยนเป็นค่าต่างๆ ในช่วง 0-1 อย่างครอบคลุมแล้วหรือไม่ ถ้าไม่ให้ทำขั้นตอนที่ 3-10 ถ้าใช่ให้หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ

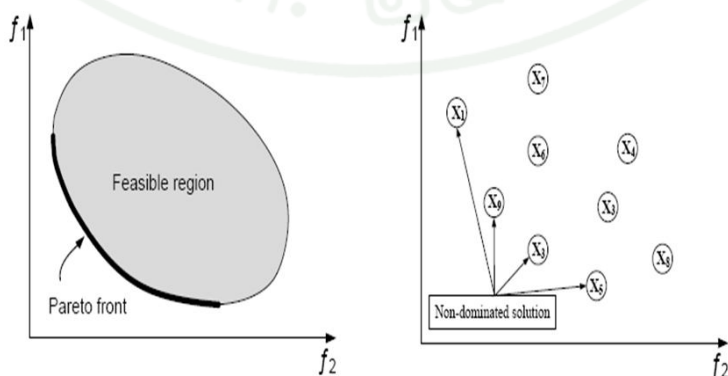
ขั้นตอนที่ 12 นำคู่ลำดับที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุด มาเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างพारेโต (Pareto) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังภาพที่ 27 และโปรแกรมจะแสดงเซตของพारेโตซึ่งเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto front) โดยที่คำตอบนั้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา และไม่มีคำตอบอื่นครอบงำ (Non-dominated) ดังภาพที่ 28

```

338
339
340
341
342
343
344
345 [A B]=prtp(B)
346
347 ECOST_Pareto=A(:,1)
348 BUDGET_Pareto=A(:,2)
349
350 Result_Pareto=[ECOST_Pareto BUDGET_Pareto]
351
352
353
354 %----- แปลงให้เป็นค่าที่เหมาะสม -----
355 %[A b]=prtp(B)
356 SA=A
357 for i=1:length(SA(:,1))
358     for j=1:length(B(:,1))
359         if SA(i,1)~=B(j,1)
360
361             PP(i,1)=SA(i,1); % ECOST
362             PP(i,2:9)=correct_Pop(j,1:8);
363
364             PP(i,10)=correct_SAIDI_verti(j,1); % SAIDI
365             PP(i,11)=correct_SAIIFI_verti(j,1); % SAIFI
366             PP(i,12)=correct_ENS_verti(j,1); % ENS

```

ภาพที่ 27 คำสั่งในการใช้ Pareto ในโปรแกรม MATLAB



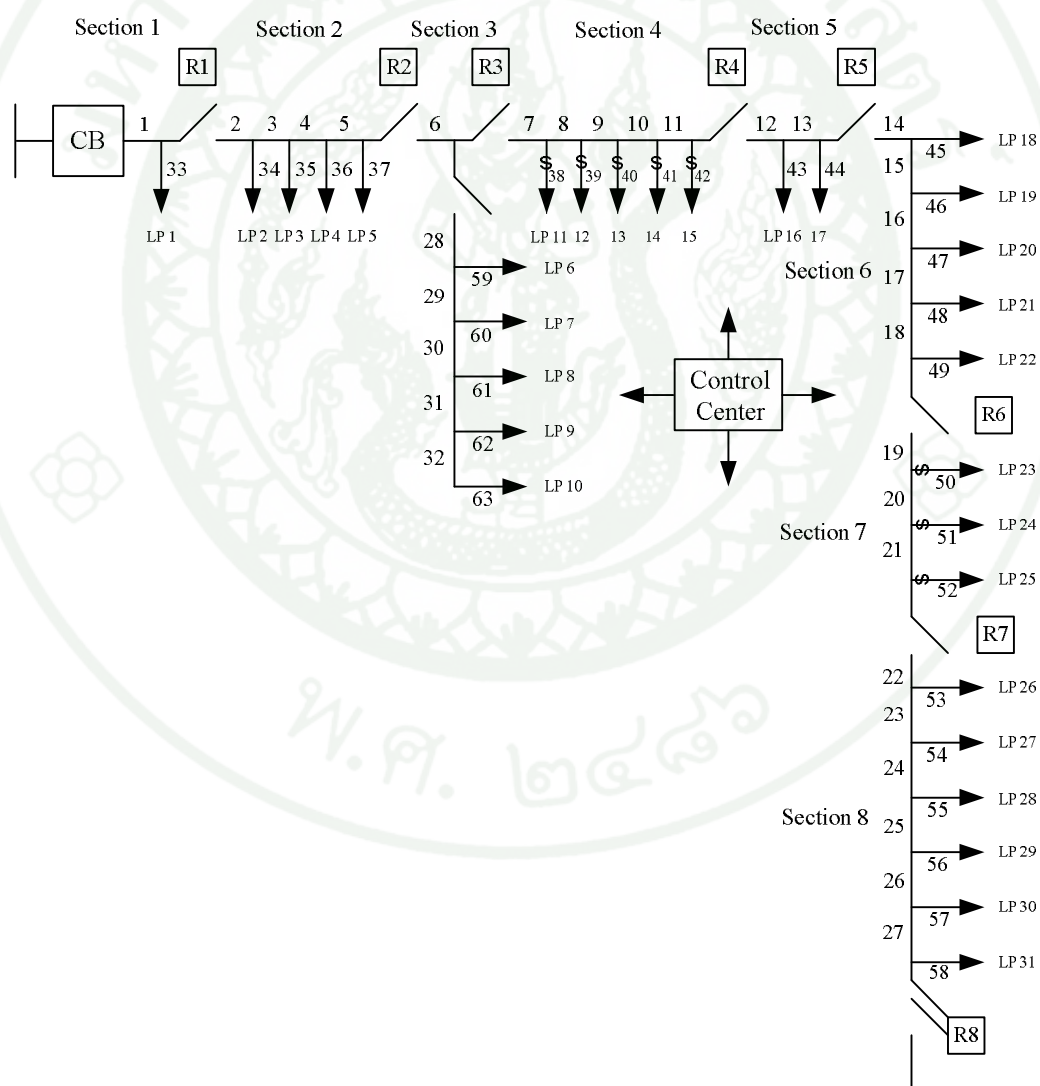
ภาพที่ 28 กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto front)

## ผลและวิจารณ์

### ผล

#### 1. ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณีศึกษาของสายป้อนจริงการไฟฟ้านครหลวง

กรณีศึกษาสายป้อนพัฒนาการ (PTN411) ดังภาพที่ 29 ถูกนำมาใช้ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ดังนี้



ภาพที่ 29 ระบบของการไฟฟ้านครหลวงสายป้อนพัฒนาการ (PTN411)

1.1 ได้กำหนดกรณีศึกษา 6 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง

กรณีที่ 2 ไม่ติดตั้ง LBS แต่ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง

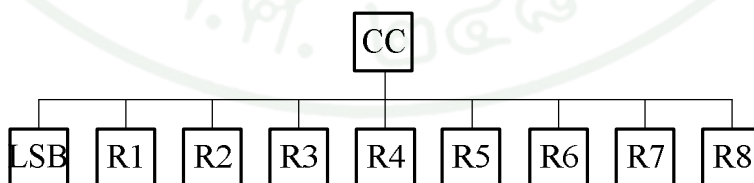
กรณีที่ 3 กำหนดให้ติดตั้ง LBS ในตำแหน่ง  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_7$  ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=100% สวิตช์ใบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 99.5%

กรณีที่ 4 กำหนดให้ติดตั้ง LBS ในตำแหน่ง  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_7$  ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=60% สวิตช์ใบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 99.5%

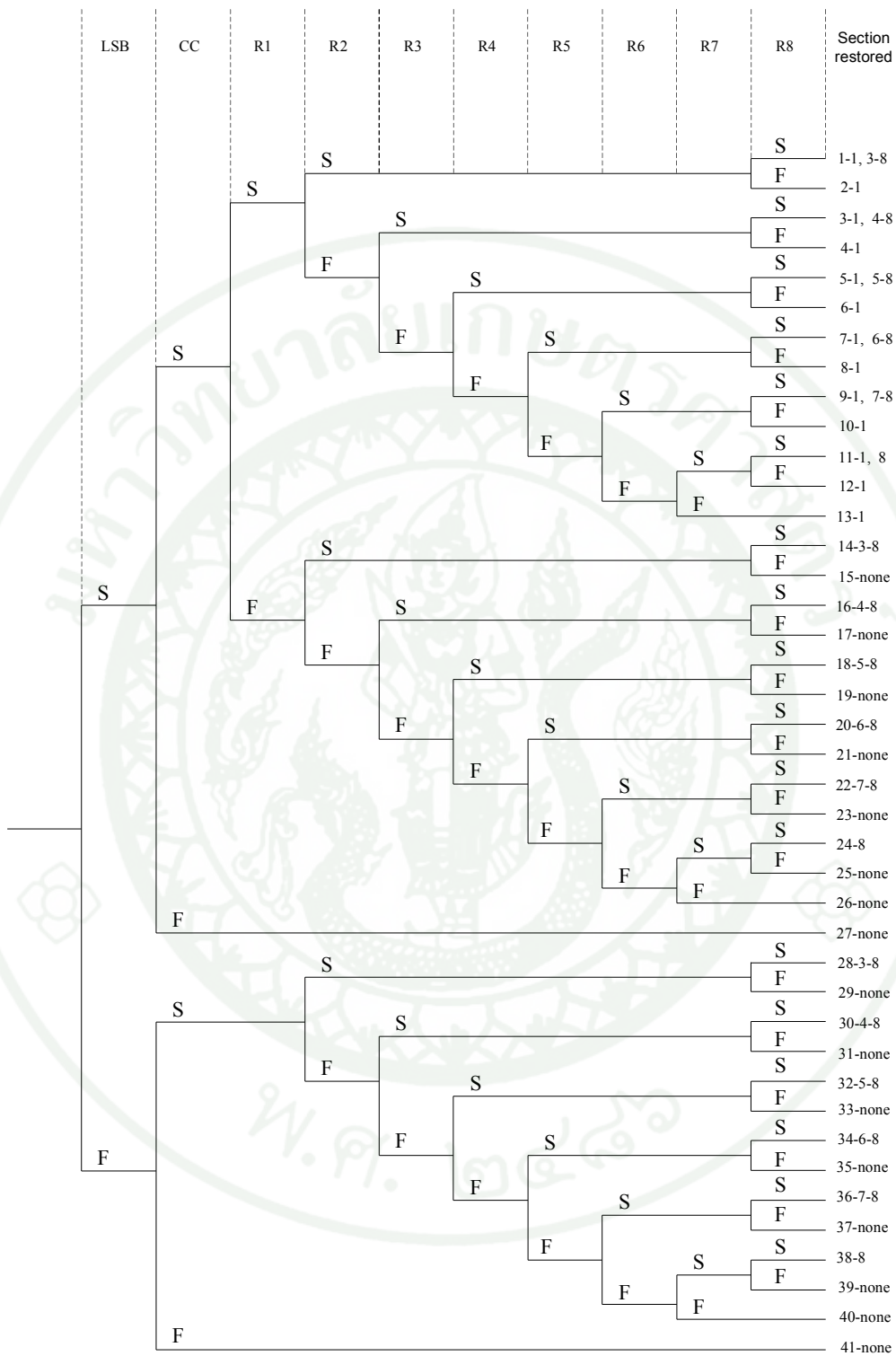
กรณีที่ 5 ให้ความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบสื่อสาร LBS=98% สวิตช์ใบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 100% และใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 3 จุดเท่านั้น

กรณีที่ 6 ให้ความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบสื่อสาร LBS=98% สวิตช์ใบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 60% และใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 3 จุดเท่านั้น

จากภาพที่ 29 เมื่อนำมาพิจารณาในรูปแบบโมดูลของระบบ DMS ที่ประกอบด้วย 10 โมดูล โดยมีโมดูล CC ที่ประกอบด้วย Control center, Communication และ RTU โมดูล LSB ที่ประกอบด้วย Circuit breaker, Communication และ RTU ส่วนโมดูล R1-R8 ที่ประกอบด้วย LBS, Communication และ RTU ในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 ตัวอย่างระบบ DMS ที่ประกอบด้วย 10 โมดูล



ภาพที่ 31 ตัวอย่าง แผนผัง Event tree ของสายป้อนพัฒนาการ (PTN411) สำหรับ Fault ที่เกิดขึ้น section 2

ตัวอย่าง จากภาพที่ 31 ความน่าจะเป็นของแต่ละเส้นทางสามารถคำนวณได้จาก Fault ที่เกิดใน section 2 มีดังนี้

$$\begin{aligned}
 P(P_1) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} S_{R2} S_{R8} \\
 P(P_2) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} S_{R2} F_{R8} \\
 P(P_3) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} S_{R3} S_{R8} \\
 P(P_4) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} S_{R3} F_{R8} \\
 P(P_5) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} S_{R8} \\
 P(P_6) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} F_{R8} \\
 P(P_7) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} S_{R8} \\
 P(P_8) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} F_{R8} \\
 P(P_9) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} S_{R8} \\
 P(P_{10}) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} F_{R8} \\
 P(P_{11}) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} S_{R7} S_{R8} \\
 P(P_{12}) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} S_{R7} F_{R8} \\
 P(P_{13}) &= S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} F_{R7} \\
 P(P_{14}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} S_{R2} S_{R8} \\
 P(P_{15}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} S_{R2} F_{R8} \\
 P(P_{16}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} S_{R3} S_{R8} \\
 P(P_{17}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} S_{R3} F_{R8} \\
 P(P_{18}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} S_{R8} \\
 P(P_{19}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} F_{R8} \\
 P(P_{20}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} S_{R8} \\
 P(P_{21}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} F_{R8} \\
 P(P_{22}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} S_{R8} \\
 P(P_{23}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} F_{R8} \\
 P(P_{24}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} S_{R7} S_{R8} \\
 P(P_{25}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} S_{R7} F_{R8} \\
 P(P_{26}) &= S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} F_{R7} \\
 P(P_{27}) &= S_{LSB} F_{CC} \\
 P(P_{28}) &= F_{LSB} S_{CC} S_{R2} S_{R8}
 \end{aligned}$$

$$P(P_{29}) = F_{LSB} S_{CC} S_{R2} F_{R8}$$

$$P(P_{30}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} S_{R3} S_{R8}$$

$$P(P_{31}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} S_{R3} F_{R8}$$

$$P(P_{32}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} S_{R4} S_{R8}$$

$$P(P_{33}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} S_{R4} F_{R8}$$

$$P(P_{34}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} S_{R8}$$

$$P(P_{35}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} F_{R8}$$

$$P(P_{36}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} S_{R8}$$

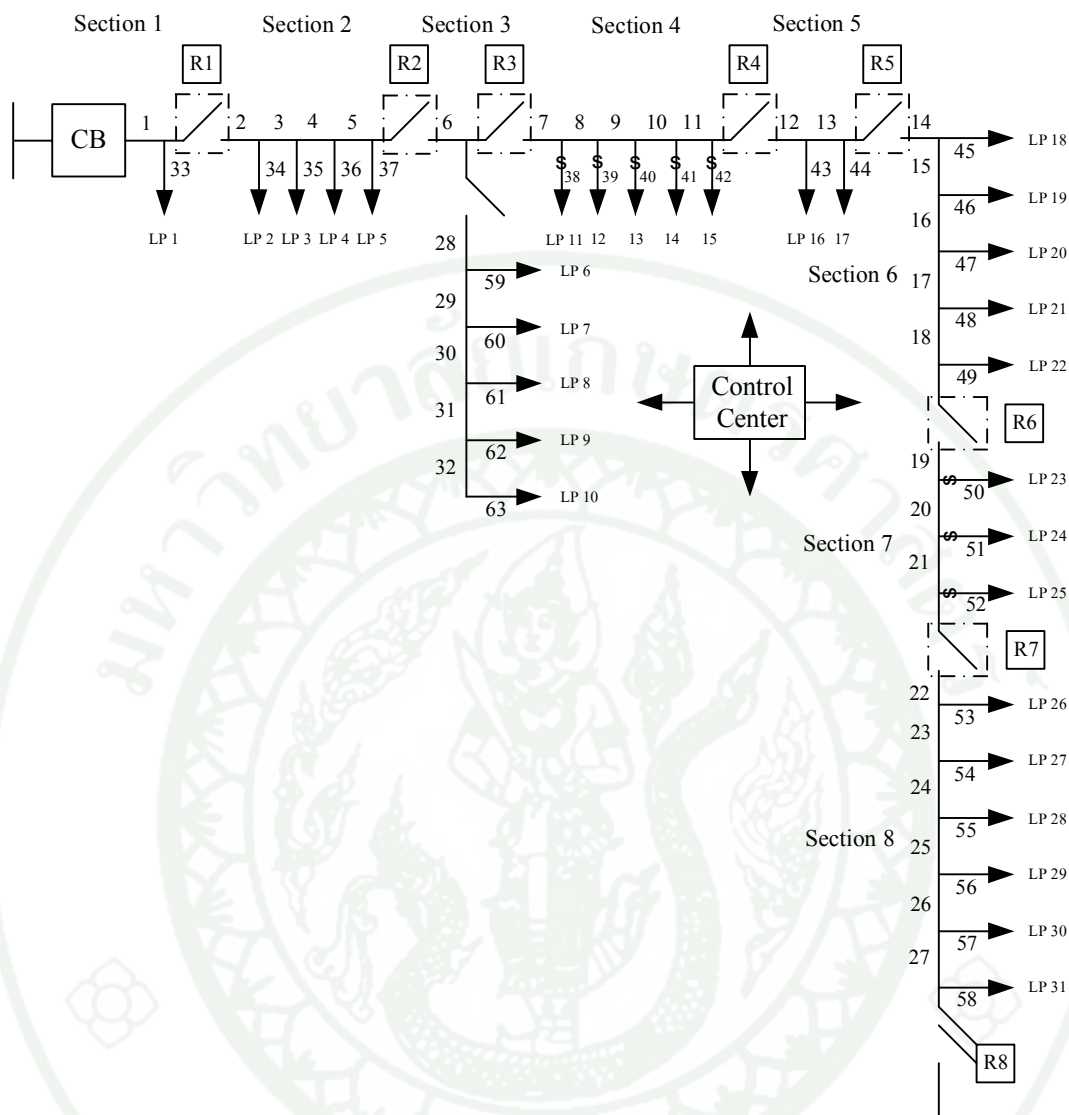
$$P(P_{37}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} F_{R8}$$

$$P(P_{38}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} S_{R7} S_{R8}$$

$$P(P_{39}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} S_{R7} F_{R8}$$

$$P(P_{40}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6} F_{R7}$$

$$P(P_{41}) = F_{LSB} F_{CC}$$



ภาพที่ 32 กรณีที่ 1 ติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง

ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ความเชื่อถือได้ดีที่สุด เพราะติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง ดังภาพที่ 32

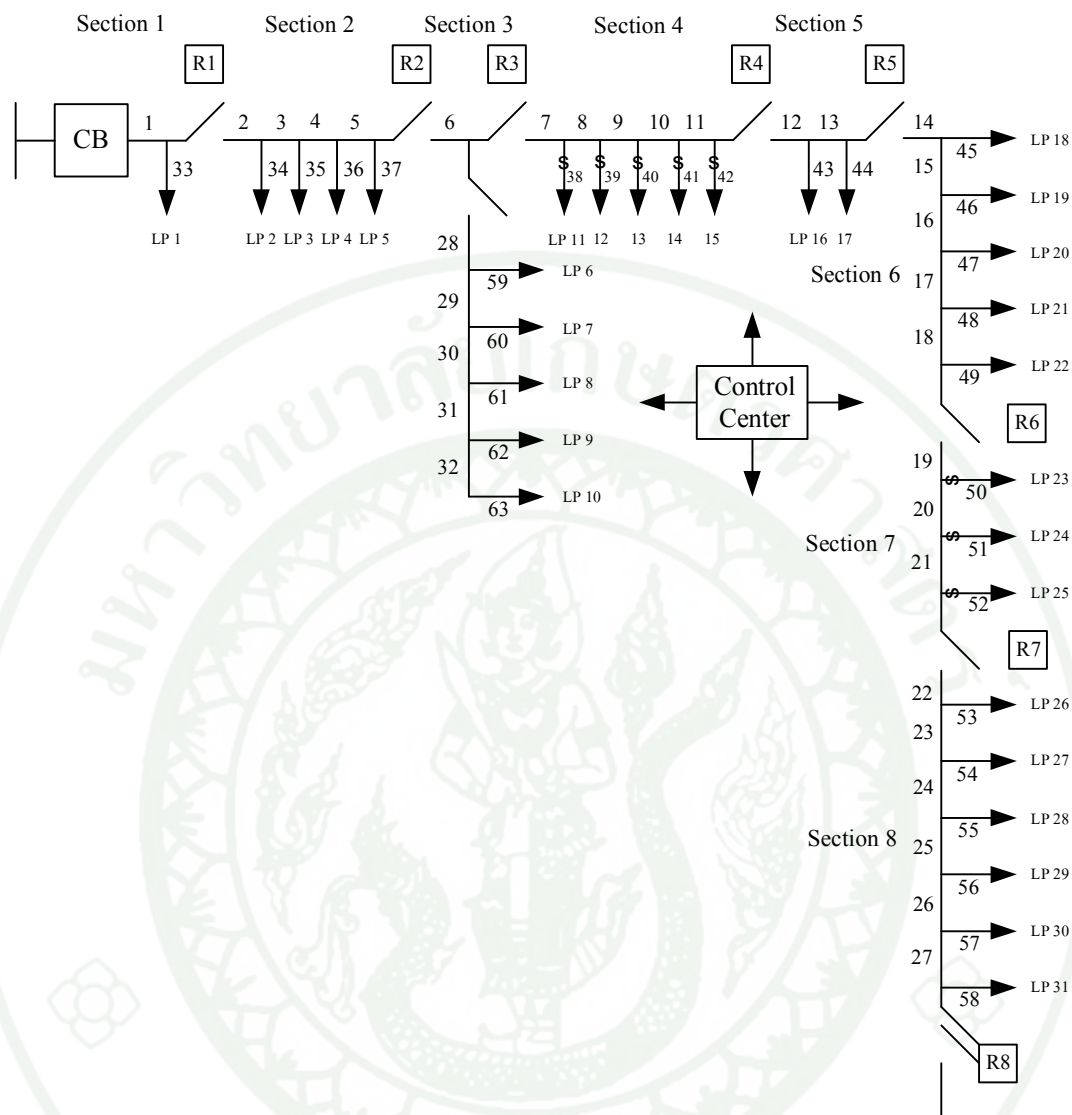
SAIFI = 0.41 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 2.04 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 41.29 kWhr/ปี

ECOST = 9.26 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 1,400,000 บาท



ภาพที่ 33 กรณีที่ 2 ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง

ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 ที่ไม่มีการติดตั้ง LBS เลย แต่ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง ดังภาพที่ 33

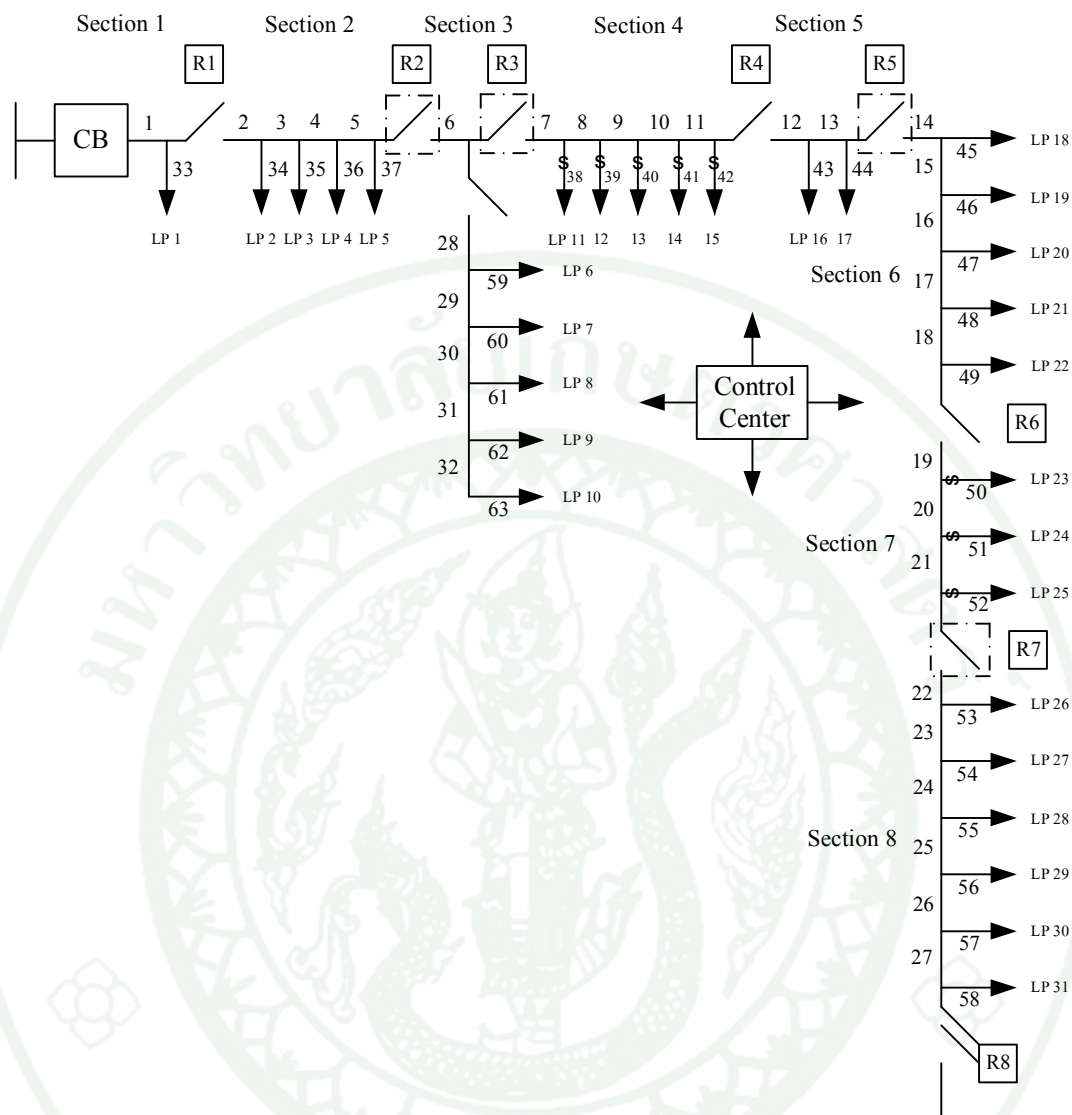
SAIFI = 2.11 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 3.75 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 123.77 kWh/ปี

ECOST = 25.36 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 0 บาท



ภาพที่ 34 กรณีที่ 3 และ 4 กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_7$

ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ในกรณีที่ 3 ได้กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_7$  เนื่องจากในตำแหน่งที่ติดตั้งนี้มีผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ดังภาพที่ 34 โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS = 100% หรือเต็มประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาว่าส่งผลกระทบต่ออย่างไรกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้

$$\text{SAIFI} = 1.34 \text{ ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี}$$

$$\text{SAIDI} = 2.60 \text{ ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี}$$

$$\text{ENS} = 55.81 \text{ kWhr/ปี}$$

ECOST = 11.50 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 800,000 บาท

ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ห้ำในกรณีที่ 4 ได้กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่ R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>5</sub> และ R<sub>7</sub> เนื่องจากในตำแหน่งที่ติดตั้งนี้มีผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ดังภาพที่ 34 โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS = 60% หรือไม่เต็มประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาว่าส่งผลกระทบต่ออย่างไรกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้

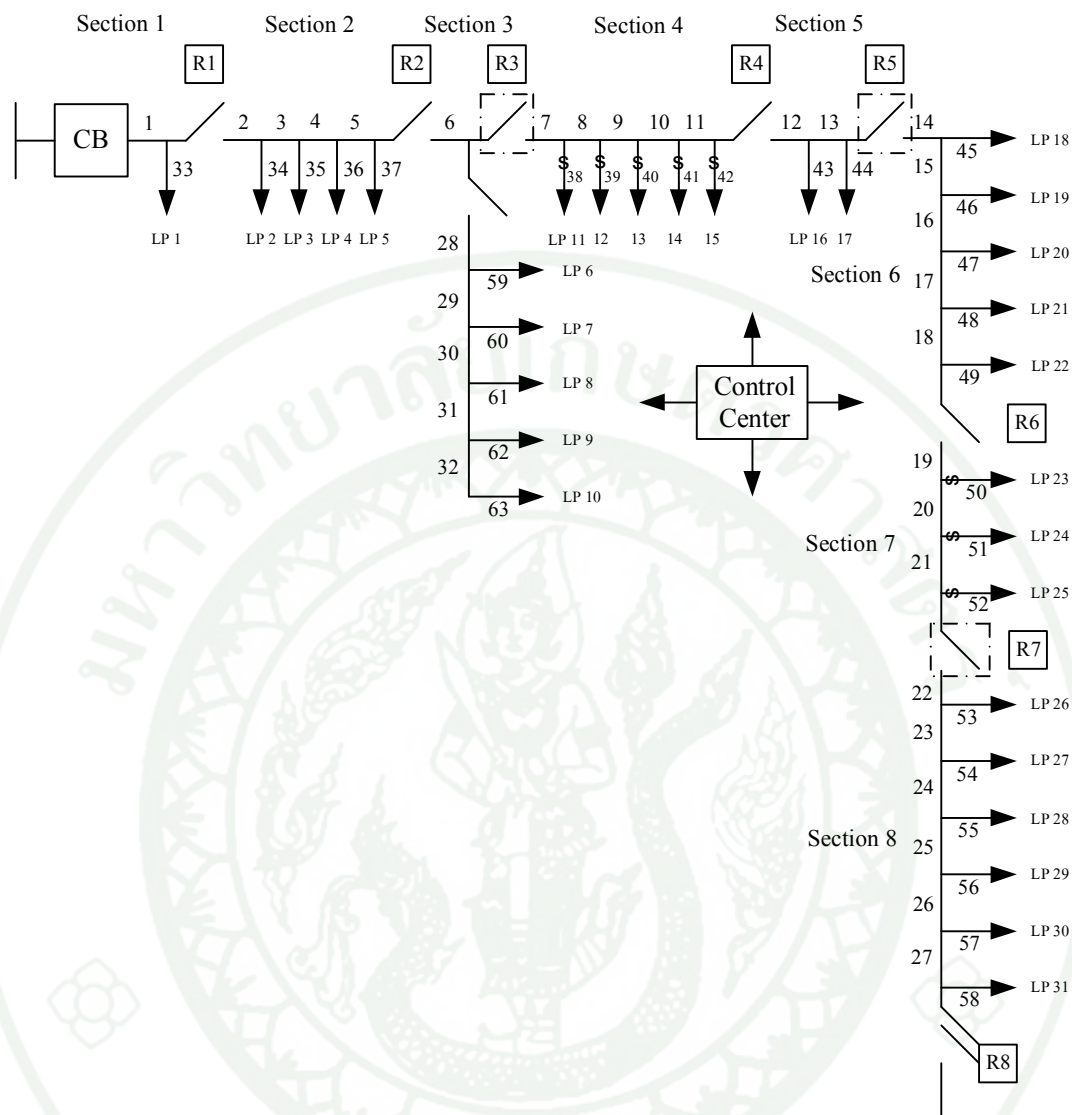
SAIFI = 1.72 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 2.79 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 64.76 kWhr/ปี

ECOST = 13.17 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 800,000 บาท



ภาพที่ 35 กรณีที่ 5 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาคำแหน่งติดตั้ง LBS

ในกรณีที่ 5 ใช้วิธี MOGA เข้ามาวิเคราะห์ เพื่อหาคำแหน่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 3 จุดเท่านั้น ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น โดยระบบควบคุม DMS ทำงานได้ 100% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ ตำแหน่ง  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_7$  ดังภาพที่ 35

SAIFI = 1.57 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

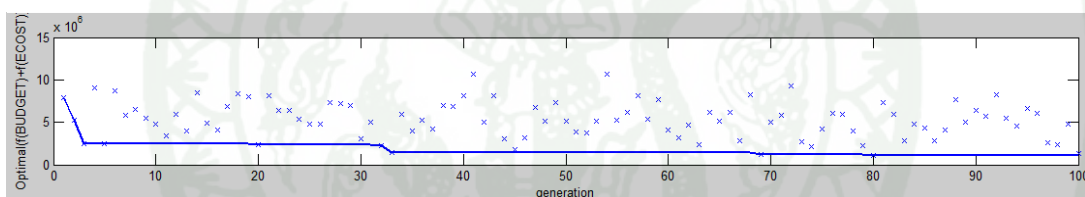
SAIDI = 2.86 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 64.37 kWhr/ปี

ECOST = 13.44 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 600,000 บาท

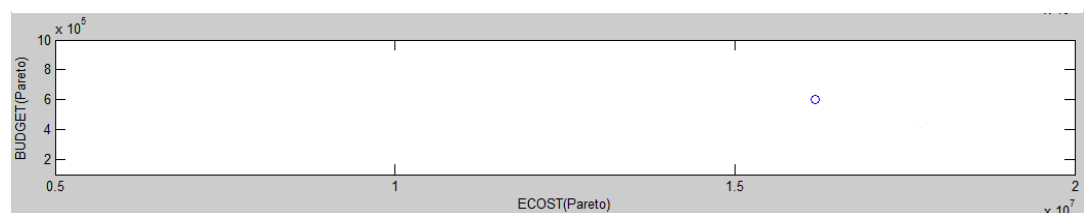
จากภาพที่ 36 เป็นการกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โดยทำการเปรียบเทียบกันเองในกลุ่มประชากร เพื่อตัดสินคัดเลือกโครโมโซมที่จะใช้สืบสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป โดยกรณีศึกษาสายป้อน (PTN411) ได้กำหนดค่าความเหมาะสมด้วยวิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและง่ายต่อการนำไปใช้ และนำผลที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากร ซึ่งจะได้อันดับมาเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างพารेटอ (Pareto) ดังภาพที่ 37 จากนั้นทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 5 (Pareto front) โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 3 จุดเท่านั้น เท่ากับค่าติดตั้ง 600,000 บาท เมื่อมีการพิจารณาแล้วจึงได้เลือกอันดับในภาพที่ 38 นั้น เมื่อมีการแปลงเป็นตำแหน่งติดตั้ง LBS แล้วจะได้ตำแหน่งติดตั้ง  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_7$



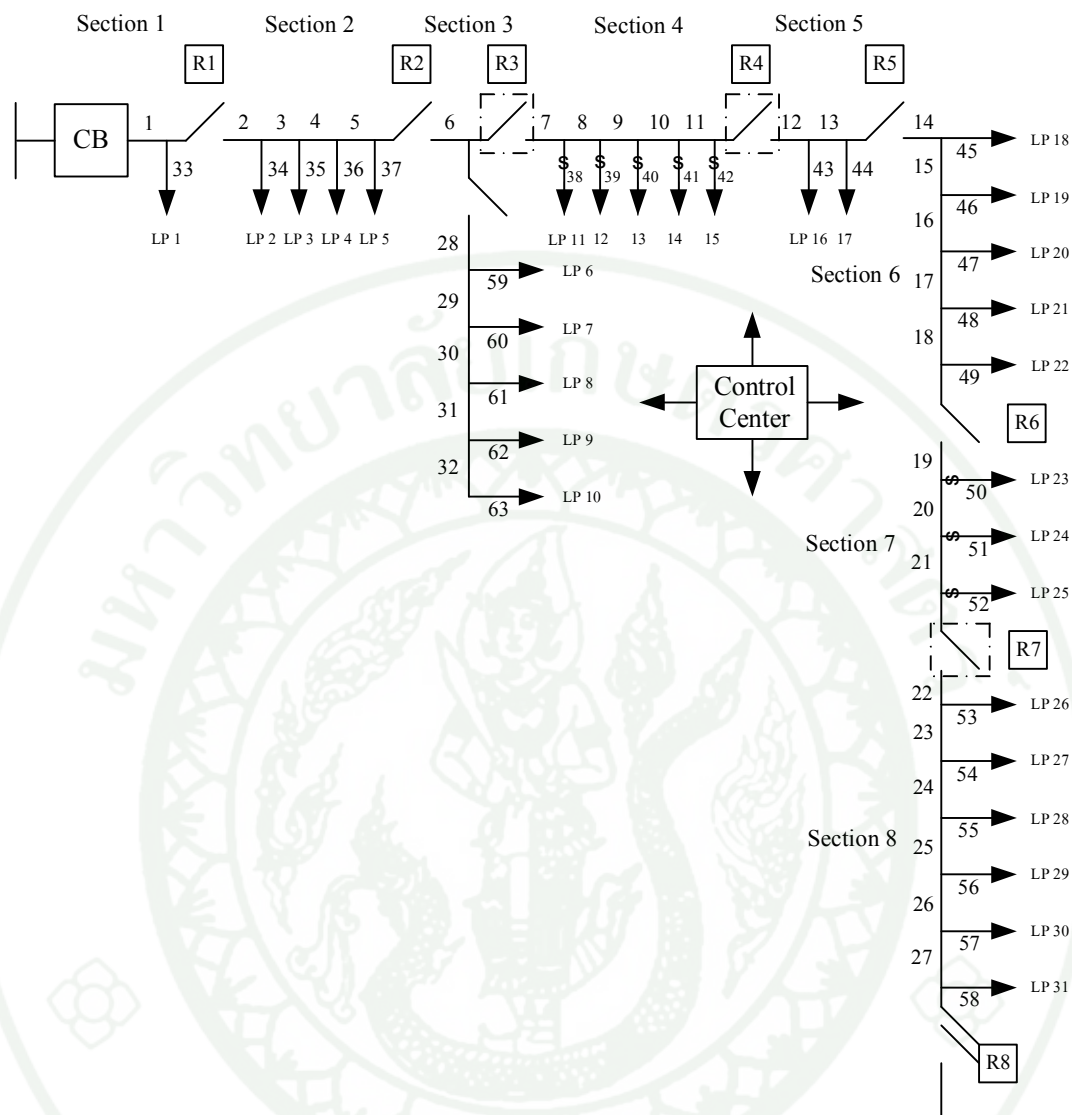
ภาพที่ 36 ผลที่ได้จากการหาค่าความเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์



ภาพที่ 37 ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)



ภาพที่ 38 คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีศึกษาที่ 5 (Pareto front)



ภาพที่ 39 กรณีที่ 6 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาคำแหน่งติดตั้ง LBS

ในกรณีที่ 6 ใช้วิธี MOGA เข้ามาวิเคราะห์ เพื่อหาคำแหน่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 3 จุดเท่านั้น ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น โดยระบบควบคุม DMS ทำงานได้ 60% โดยไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ตำแหน่ง  $R_3$ ,  $R_4$  และ  $R_7$  ดังภาพที่ 39

SAIFI = 1.72 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

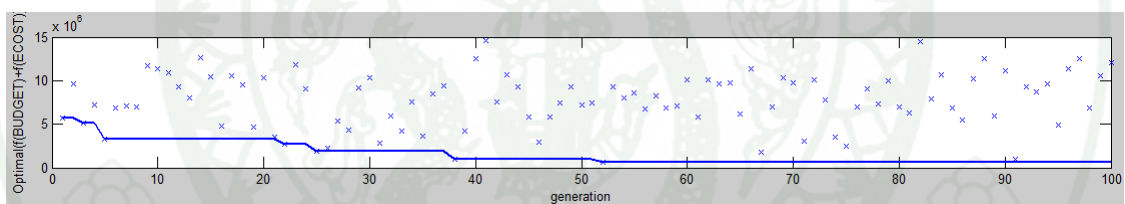
SAIDI = 2.95 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 78.87 kWhr/ปี

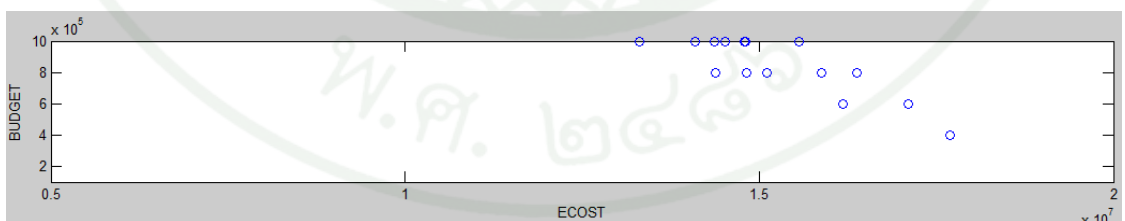
ECOST = 16.18 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 600,000 บาท

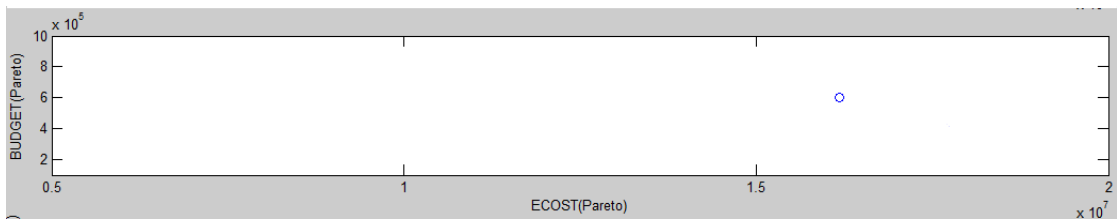
จากภาพที่ 40 เป็นการกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โดยทำการเปรียบเทียบกันเองในกลุ่มประชากร เพื่อตัดสินคัดเลือกโครโมโซมที่จะใช้สืบสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป โดยกรณีศึกษาสายป้อน (PTN411) ได้กำหนดค่าความเหมาะสมด้วยวิธีการรวมฟังก์ชัน โดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและง่ายต่อการนำไปใช้ และนำผลที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากร ซึ่งจะได้คู่ลำดับมาเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างพารेटอ (Pareto) ดังภาพที่ 41 จากนั้นทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดของกรณี 6 (Pareto front) โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 3 จุดเท่านั้น เท่ากับค่าติดตั้ง 600,000 บาท เมื่อมีการพิจารณาแล้วจึงได้เลือกคู่ลำดับในภาพที่ 42 นั้น เมื่อมีการแปลงเป็นตำแหน่งติดตั้ง LBS แล้วจะได้ตำแหน่งติดตั้ง  $R_3$ ,  $R_4$  และ  $R_7$



ภาพที่ 40 ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์



ภาพที่ 41 ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)



ภาพที่ 42 คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 6 (Pareto front)



ตารางที่ 7 ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้านครหลวง (0=สวิตช์ใบมีด, 1=LBS)

กรณี	CC	Prob.	Prob.	MOGA	SAIFI	SAIDI	ENS	ECOST (ล้านบาท)	BUDGET (แสนบาท)	ตำแหน่ง (R)						
		LBS	สวิตช์ใบมีด							1	2	3	4	5	6	7
1	100%	1	N/A	N/A	0.41	2.04	41.29	9.26	1.4	1	1	1	1	1	1	1
2	N/A	N/A	1	N/A	2.11	3.75	123.77	25.36	0	0	0	0	0	0	0	0
3	99.5%	1	1	N/A	1.34	2.60	55.81	11.50	8	0	1	1	0	1	0	1
4	99.5%	0.6	1	N/A	1.72	2.79	64.76	13.17	8	0	1	1	0	1	0	1
5	100%	0.98	1	X	1.57	2.86	64.37	13.44	6	0	0	1	0	1	0	1
6	60%	0.98	1	X	1.72	2.95	78.87	16.18	6	0	0	1	1	0	0	1

## วิจารณ์

ระบบของการไฟฟ้านครหลวงทั้งหมดนี้ ได้กำหนดกรณีศึกษาต่างๆ อยู่ในตารางที่ 7 พร้อมแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของสายป้อนทดสอบ โดยทุกกรณีกำหนดว่าถ้าระยะเวลาไฟฟ้าดับน้อยกว่า 1 นาที จะไม่นำมาคำนวณ SAIFI และ SAIDI จากการศึกษาในกรณีที่ 1 ได้สมมติว่าติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง และให้เวลา restoration เท่ากับ 0.001 ชั่วโมง ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ความเชื่อถือได้ดีที่สุด ผลที่ได้คือ ค่า SAIFI เท่ากับ 0.41 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 2.04 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 41.29 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 9.26 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 1.4 ล้านบาท ดังภาพที่ 32 และในกรณีที่ 2 ไม่ติดตั้ง LBS แต่ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง ให้เวลา restoration เท่ากับ 1 ชั่วโมง มีค่าดัชนีความเชื่อถือได้ต่ำสุด ส่งผลให้ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าสูงที่สุด ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 2.11 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 3.75 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 123.77 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ค่า ECOST เท่ากับ 25.36 ล้านบาท/ปี ส่วนค่า BUDGET นั้นไม่มีค่าใช้จ่าย เนื่องจากไม่มีการติดตั้ง LBS เลย ดังภาพที่ 33 เมื่อนำผลที่ได้จากกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 มาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าของ SAIFI เพิ่มขึ้น 414.63% ค่า SAIDI เพิ่มขึ้น 83.82% ค่า ENS เพิ่มขึ้น 199.76% และค่าของ ECOST เพิ่มขึ้น 173.87%

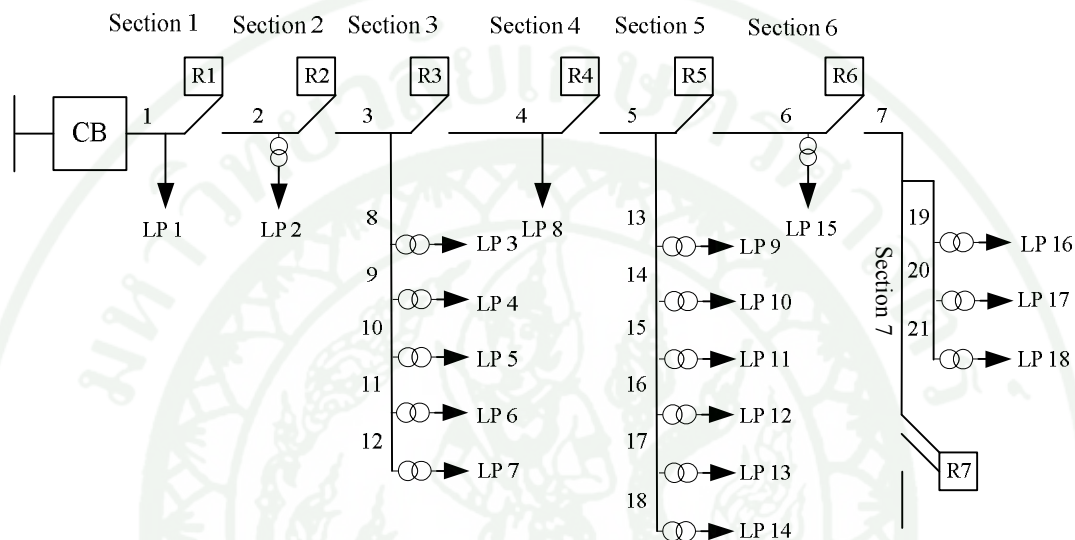
การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ถูกควบคุมด้วยระบบ DMS ถูกพิจารณาในกรณีที่ 3 ถึงกรณีที่ 6 โดยในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 กำหนดให้ความน่าจะเป็นในการทำงานของสวิตช์ใบมีด และการทำงานของระบบควบคุมเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร เพื่อศึกษาว่ามีผลกระทบอย่างไรกับค่าดัชนี ได้กำหนดให้ LBS อยู่ในตำแหน่ง  $R_2, R_3, R_5, R_7$  ดังภาพที่ 34 โดยความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=100% สวิตช์ใบมีด=100% ในกรณีที่ 3 และความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=60% สวิตช์ใบมีด=100% ในกรณีที่ 4 โดยทั้งสองกรณีระบบควบคุมทำงาน 99.5% ผลที่ได้จากกรณีที่ 3 คือ SAIFI เท่ากับ 1.34 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 2.60 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 55.81 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 11.50 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 8 ล้านบาท และกรณีที่ 4 ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 1.72 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 2.79 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 64.76 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 13.17 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 8 ล้านบาท เมื่อนำผลที่ได้จากกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 มาเปรียบเทียบพบว่า ในกรณีที่ 4 มีค่า SAIFI เพิ่มขึ้น 28.36% ค่า SAIDI เพิ่มขึ้น 7.31% ส่วนค่า ECOST เพิ่มขึ้น 14.52% และค่า ENS เพิ่มขึ้น 16.04% โดยค่า SAIFI เพิ่มขึ้นเนื่องจากในกรณีที่ 4 LBS มีความน่าจะเป็นใน

การทำงานสำเร็จต่ำ จึงทำให้โอกาสที่จะ restoration ได้ภายใน 1 นาที เป็นไปได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ 3

ในการศึกษากรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 ถ้าให้ความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบสื่อสารของ LBS=98% สวิตช์ใบมีด=100% โดยใช้ MOGA (Multi Objective Genetic Algorithms) เพื่อหาดำแหน่งติดตั้ง LBS และสวิตช์ใบมีดที่เหมาะสมที่สุด โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 3 จุดเท่านั้น ซึ่งได้พิจารณาทั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง LBS และความเสียหายที่เกิดจากไฟฟ้าขัดข้อง โดยทั้ง 2 กรณีนี้ต่างกันที่ระบบควบคุม DMS ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ 100% กับระบบควบคุม DMS ที่ทำงาน 60% ตามลำดับ ผลที่ได้จากกรณีที่ 5 ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 1.57 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 2.86 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 64.37 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 13.44 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 6 แสนบาท ดังภาพที่ 35 และกรณีที่ 6 ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 1.72 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 2.95 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 78.87 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 16.18 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 6 แสนบาท ดังภาพที่ 39 เมื่อนำผลที่ได้จากกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 มาเปรียบเทียบ ก็พบว่าเมื่อนำโอกาสในการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ DMS มาพิจารณาร่วมด้วย ทำให้ผลการจัดวางตำแหน่งของ LBS ที่เหมาะสมนั้นเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าในการพิจารณาการวางตำแหน่ง LBS ให้เหมาะสมนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรพิจารณาค่าโอกาสในการทำงานผิดพลาดของ DMS เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้มีโอกาสที่จะเสีย เพราะถ้าหากไม่มีการพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้อาจจะผิดพลาด ซึ่งในกรณีที่ 5 มีการติดตั้ง LBS จำนวน 3 ตัว อยู่ในตำแหน่งที่  $R_3, R_5, R_7$  ส่วนกรณีที่ 6 มีการติดตั้ง LBS จำนวน 3 ตัว อยู่ในตำแหน่งที่  $R_3, R_4, R_7$  โดยในกรณีที่ 6 มีค่า SAIDI เพิ่มขึ้น 3.15% ค่า SAIFI เพิ่มขึ้น 9.55% ส่วนค่า ECOST เพิ่มขึ้น 20.39% และค่า ENS เพิ่มขึ้น 22.53% ดูจากตารางที่ 7

## 2. ผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้กรณีศึกษาของฟีดเดอร์การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

กรณีศึกษาฟีดเดอร์คลองขวาน (KWA06) ดังภาพที่ 43 ถูกนำมาใช้ในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ดังนี้



ภาพที่ 43 ระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคฟีดเดอร์คลองขวาน (KWA06)

### 2.1 ได้กำหนดกรณีศึกษา 6 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง

กรณีที่ 2 ไม่ติดตั้ง LBS แต่ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง

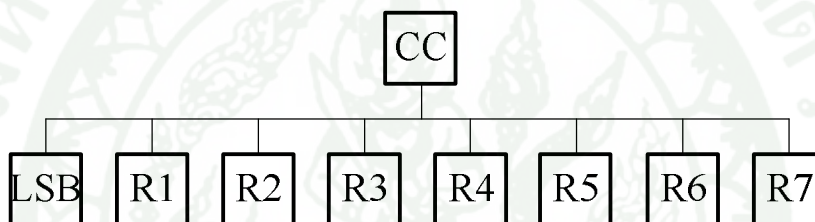
กรณีที่ 3 กำหนดให้ติดตั้ง LBS ในตำแหน่ง  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_6$  ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=100% สวิตช์ใบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 99.5%

กรณีที่ 4 กำหนดให้ติดตั้ง LBS ในตำแหน่ง  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_6$  ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=60% สวิตช์ใบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 99.5%

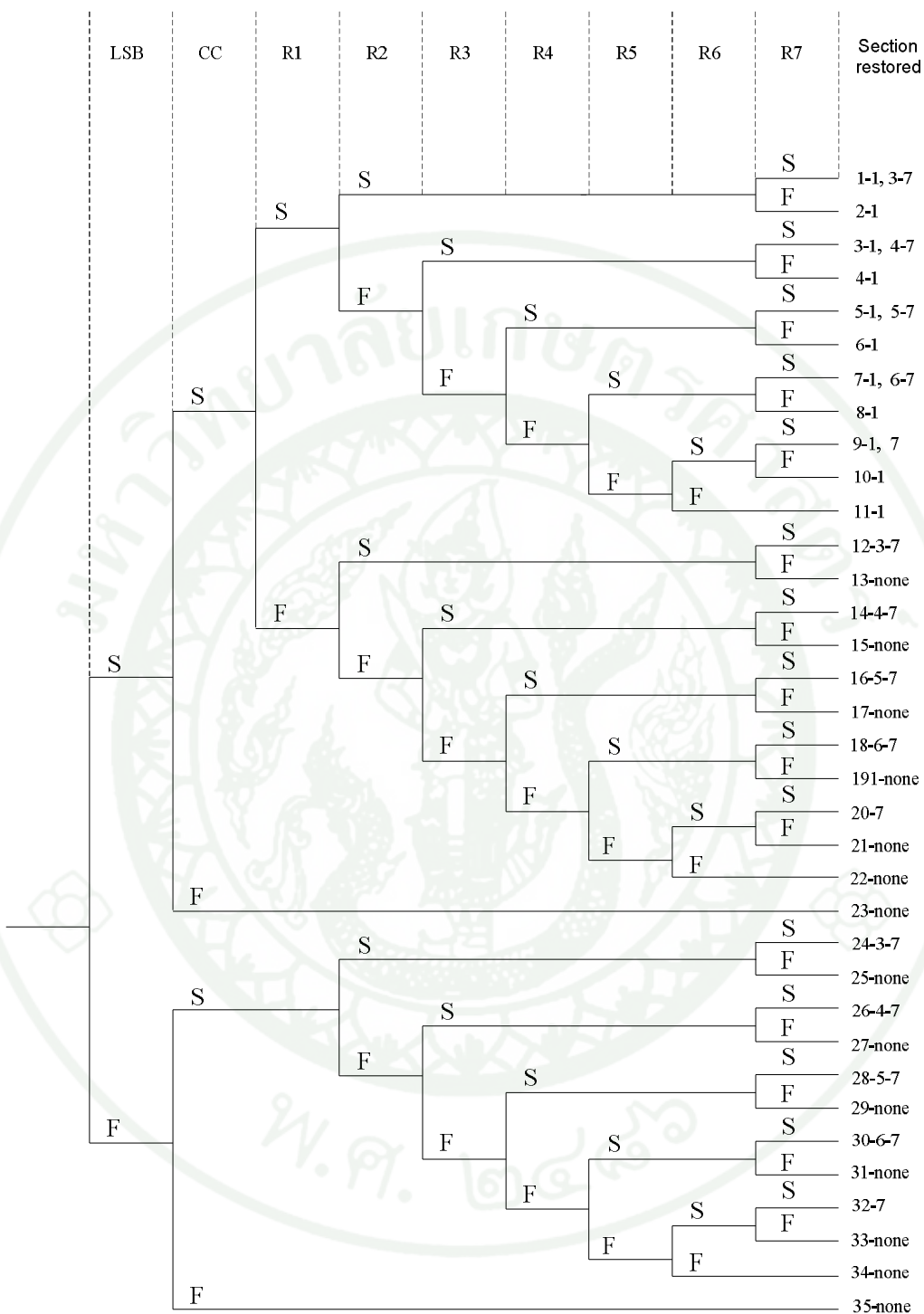
กรณีที่ 5 ให้ความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบสื่อสาร LBS=98% สวิตช์ใบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 100% และใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 2 จุดเท่านั้น

กรณีที่ 6 ให้ความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบสื่อสาร LBS=98% สวิตช์โบมีด=100% โดยระบบควบคุมทำงานได้ 60% และใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 2 จุดเท่านั้น

จากภาพที่ 43 เมื่อนำมาพิจารณาในรูปแบบโมดูลของระบบ DMS ที่ประกอบด้วย 9 โมดูล โดยมีโมดูล CC ที่ประกอบด้วย Control center, Communication และ RTU โมดูล LSB ที่ประกอบด้วย Circuit breaker, Communication และ RTU ส่วนโมดูล R1-R7 ที่ประกอบด้วย LBS, Communication และ RTU ในภาพที่ 44



ภาพที่ 44 ตัวอย่างระบบ DMS ที่ประกอบด้วย 9 โมดูล



ภาพที่ 45 ตัวอย่าง แผนผัง Event tree ของฟิวเจอร์กลองขวาน (KWA06) สำหรับ Fault ที่เกิดใน section 2

ตัวอย่าง จากภาพที่ 45 ความน่าจะเป็นของแต่ละเส้นทางสามารถคำนวณได้จาก Fault ที่เกิดใน section 2 มีดังนี้

$$P(P_1) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} S_{R2} S_{R7}$$

$$P(P_2) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} S_{R2} F_{R7}$$

$$P(P_3) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} S_{R3} S_{R7}$$

$$P(P_4) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} S_{R3} F_{R7}$$

$$P(P_5) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} S_{R7}$$

$$P(P_6) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} F_{R7}$$

$$P(P_7) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} S_{R7}$$

$$P(P_8) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} F_{R7}$$

$$P(P_9) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} S_{R7}$$

$$P(P_{10}) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} F_{R7}$$

$$P(P_{11}) = S_{LSB} S_{CC} S_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6}$$

$$P(P_{12}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} S_{R2} S_{R7}$$

$$P(P_{13}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} S_{R2} F_{R7}$$

$$P(P_{14}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} S_{R3} S_{R7}$$

$$P(P_{15}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} S_{R3} F_{R7}$$

$$P(P_{16}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} S_{R7}$$

$$P(P_{17}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} S_{R4} F_{R7}$$

$$P(P_{18}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} S_{R7}$$

$$P(P_{19}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} F_{R7}$$

$$P(P_{20}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} S_{R7}$$

$$P(P_{21}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} F_{R7}$$

$$P(P_{22}) = S_{LSB} S_{CC} F_{R1} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6}$$

$$P(P_{23}) = S_{LSB} F_{CC}$$

$$P(P_{24}) = F_{LSB} S_{CC} S_{R2} S_{R7}$$

$$P(P_{25}) = F_{LSB} S_{CC} S_{R2} F_{R7}$$

$$P(P_{26}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} S_{R3} S_{R7}$$

$$P(P_{27}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} S_{R3} F_{R7}$$

$$P(P_{28}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} S_{R4} S_{R7}$$

$$P(P_{29}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} S_{R4} F_{R7}$$

$$P(P_{30}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} S_{R7}$$

$$P(P_{31}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} S_{R5} F_{R7}$$

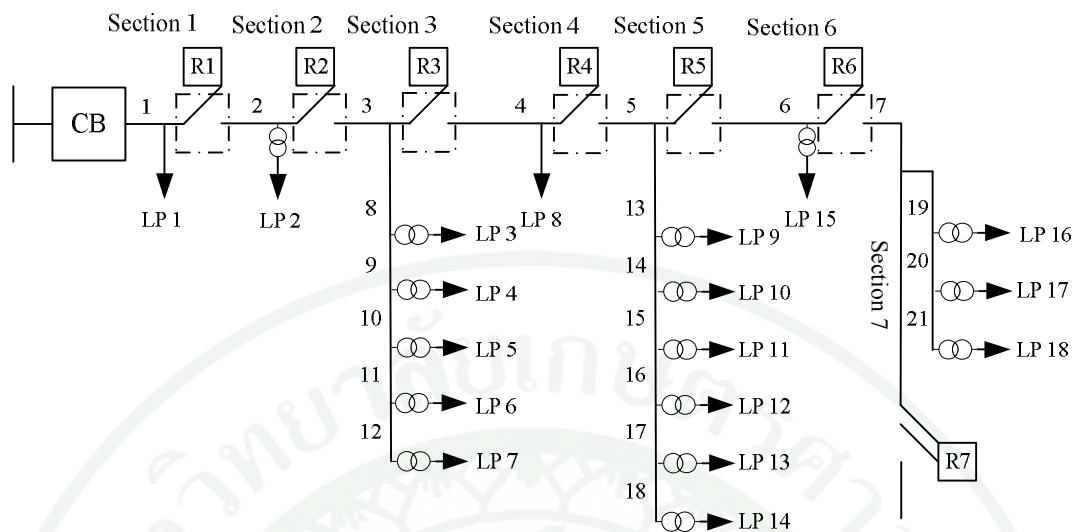
$$P(P_{32}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} S_{R7}$$

$$P(P_{33}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} S_{R6} F_{R7}$$

$$P(P_{34}) = F_{LSB} S_{CC} F_{R2} F_{R3} F_{R4} F_{R5} F_{R6}$$

$$P(P_{35}) = F_{LSB} F_{CC}$$





ภาพที่ 46 กรณีที่ 1 ติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง

ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ความเชื่อถือได้ดีที่สุด เพราะติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง ดังภาพที่ 46

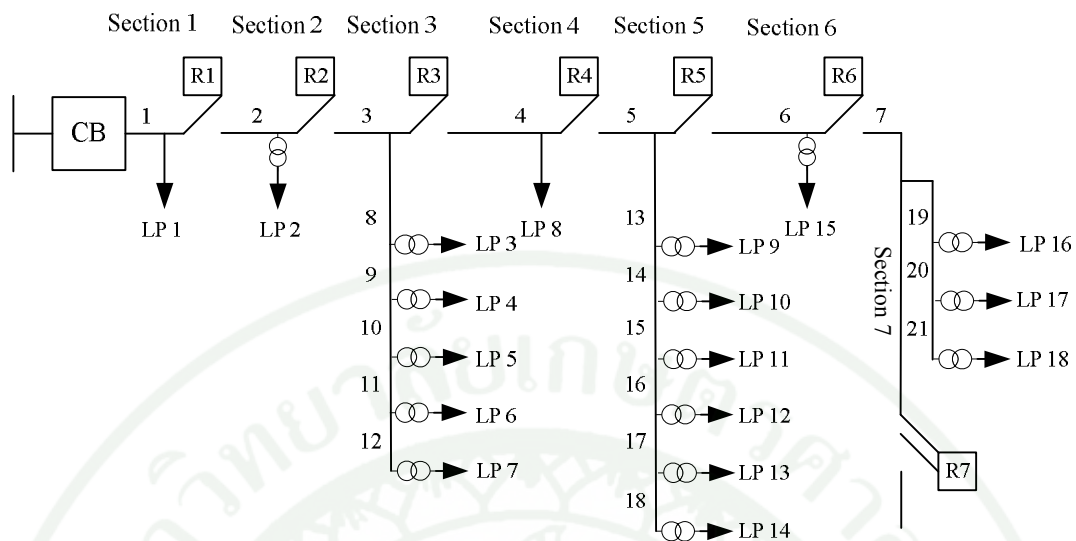
SAIFI = 0.79 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 3.95 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 98.48 kWh/ปี

ECOST = 22.55 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 1,200,000 บาท



ภาพที่ 47 กรณีที่ 2 ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง

ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 ที่ไม่มีการติดตั้ง LBS เลย แต่ติดตั้งสวิตช์ใบมีดทุกตำแหน่ง ดังภาพที่ 47

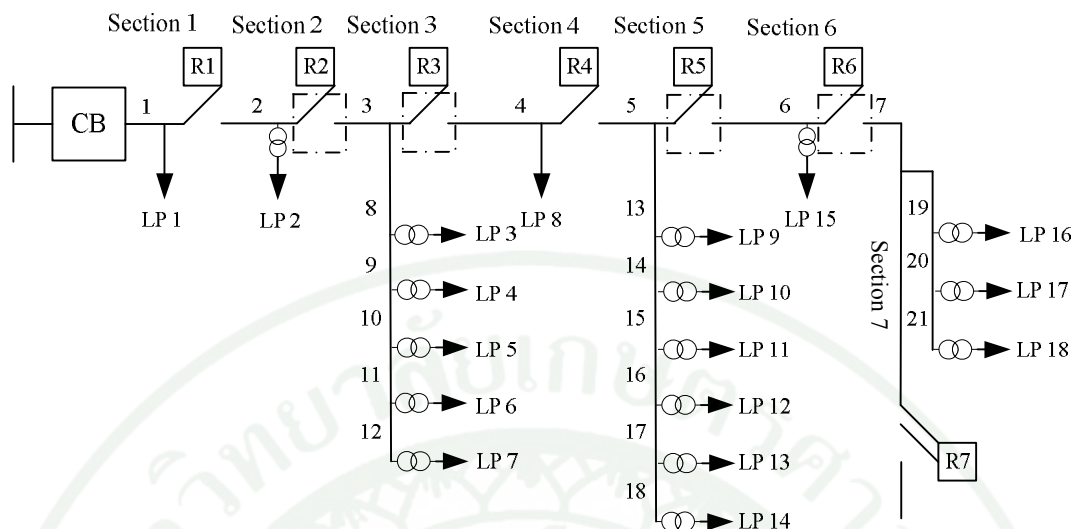
SAIFI = 3.97 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 7.13 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 183.90 kWh/ปี

ECOST = 38.53 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 0 บาท



ภาพที่ 48 กรณีที่ 3 และ 4 กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_6$

ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ห้ในกรณีที่ 3 ได้กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_6$  เนื่องจากในตำแหน่งที่ติดตั้งนี้มีผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ดังภาพที่ 48 โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS = 100% หรือเต็มประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาว่าส่งผลกระทบต่ออย่างไรกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้

SAIFI = 2.93 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 4.92 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 122.35 kWh/ปี

ECOST = 25.89 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 800,000 บาท

ผลการคำนวณด้วยวิธีการวิเคราะห์ห้ในกรณีที่ 4 ได้กำหนดตำแหน่งติดตั้ง LBS ในตำแหน่งที่  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$  และ  $R_6$  เนื่องจากในตำแหน่งที่ติดตั้งนี้มีผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ดังภาพที่ 48 โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS = 60% หรือไม่เต็มประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาว่าส่งผลกระทบต่ออย่างไรกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้

SAIFI = 3.97 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

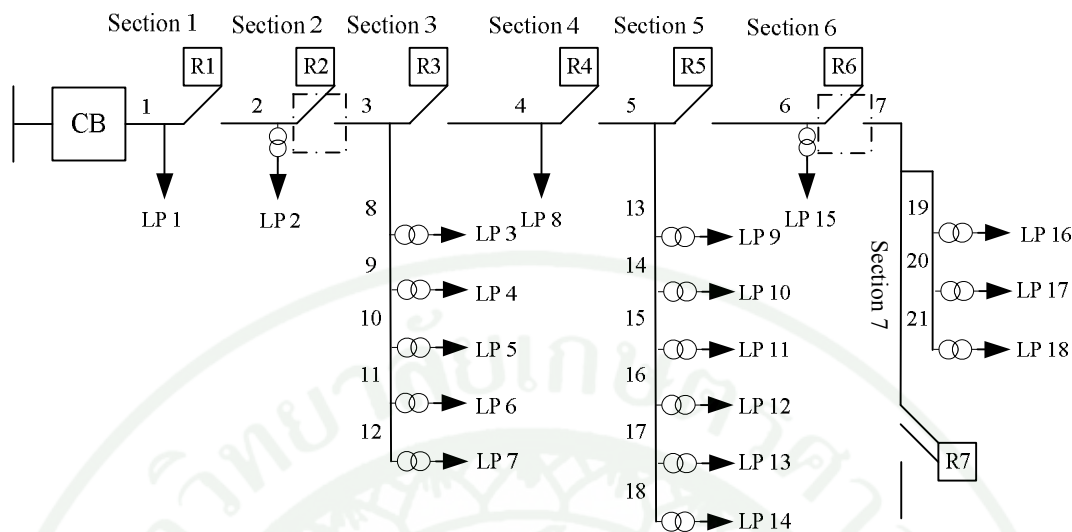
SAIDI = 5.39 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

ENS = 140.42 kWhr/ปี

ECOST = 29.43 ล้านบาท/ปี

BUDGET = 800,000 บาท





ภาพที่ 49 กรณีที่ 5 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้ง LBS

ในกรณีที่ 5 ใช้วิธี MOGA เข้ามาวิเคราะห์ เพื่อหาตำแหน่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 2 จุดเท่านั้น ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น โดยระบบควบคุม DMS ทำงานได้ 100% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ตำแหน่ง  $R_2$  และ  $R_6$  ดังภาพที่ 49

SAIFI = 3.36 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 5.63 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

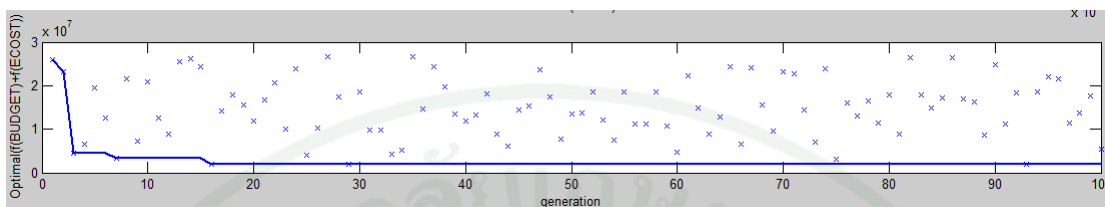
ENS = 145.22 kWhr/ปี

ECOST = 30.45 ล้านบาท/ปี

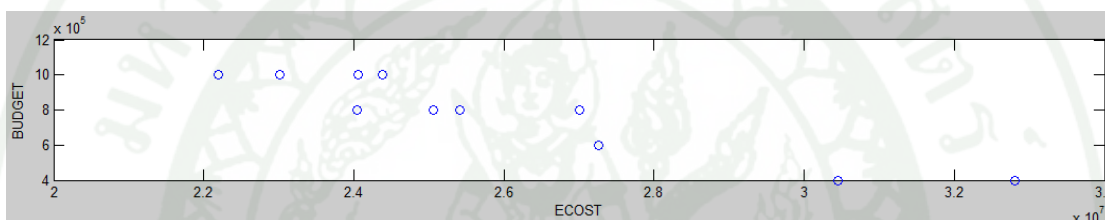
BUDGET = 400,000 บาท

จากภาพที่ 50 เป็นการกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โดยทำการเปรียบเทียบกันเองในกลุ่มประชากร เพื่อตัดสินคัดเลือกโครโมโซมที่จะใช้สืบสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป โดยกรณีศึกษาฟีดเดอร์ (KWA06) ได้กำหนดค่าความเหมาะสมด้วยวิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและง่ายต่อการนำไปใช้ และนำผลที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากร ซึ่งจะได้คู่ลำดับมาเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างพारेโต (Pareto) ดังภาพที่ 51 จากนั้นทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 5 (Pareto front) โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 2 จุดเท่านั้น เท่ากับค่าติดตั้ง 400,000 บาท เมื่อมีการพิจารณาแล้วจึง

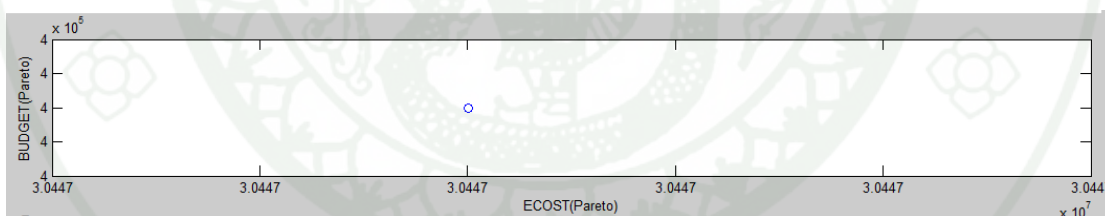
ได้เลือกคู่ลำดับในภาพที่ 52 นั้น เมื่อมีการแปลงเป็นตำแหน่งติดตั้ง LBS แล้วจะได้ตำแหน่งติดตั้ง  $R_2$  และ  $R_6$



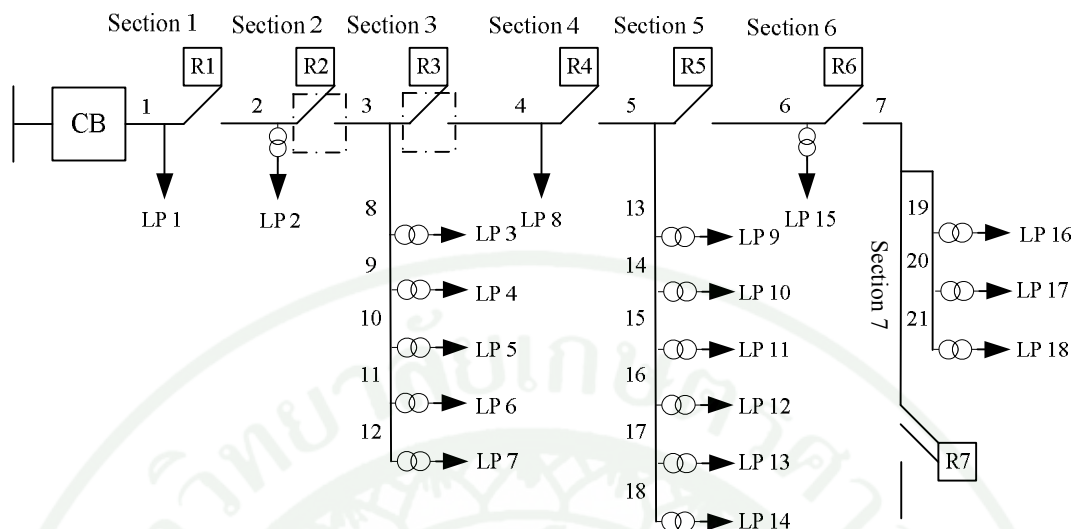
ภาพที่ 50 ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์



ภาพที่ 51 ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)



ภาพที่ 52 คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 5 (Pareto front)



ภาพที่ 53 กรณีที่ 6 ใช้ (Multi Objective Genetic Algorithms: MOGA) ในการวิเคราะห์หาค่าแห่งติดตั้ง LBS

ในกรณีที่ 6 ใช้วิธี MOGA เข้ามาวิเคราะห์ เพื่อหาค่าแห่งติดตั้ง LBS โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 2 จุดเท่านั้น ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ข้างต้น โดยระบบควบคุม DMS ทำงานได้ 60% โดยไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ ค่าแห่ง  $R_2$  และ  $R_3$  ดังภาพที่ 53

SAIFI = 3.97 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

SAIDI = 6.29 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี

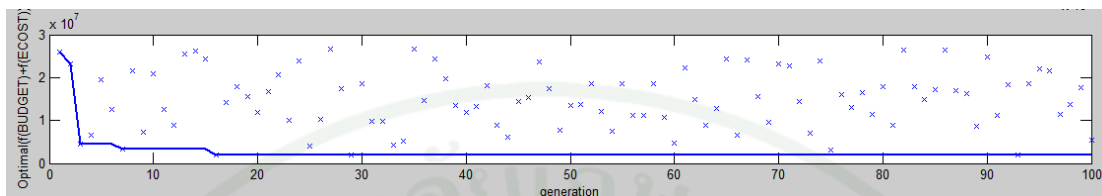
ENS = 160.02 kWh/ปี

ECOST = 33.60 ล้านบาท/ปี

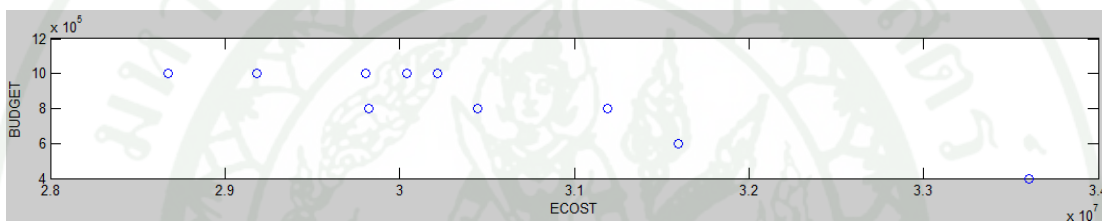
BUDGET = 400,000 บาท

จากภาพที่ 54 เป็นการกำหนดค่าความเหมาะสมให้กับโครโมโซมแต่ละตัว โดยทำการเปรียบเทียบกันเองในกลุ่มประชากร เพื่อตัดสินคัดเลือกโครโมโซมที่จะใช้สืบสายพันธุ์ในรุ่นถัดไป โดยกรณีศึกษาฟีดเดอร์ (KWA06) ได้กำหนดค่าความเหมาะสมด้วยวิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและง่ายต่อการนำไปใช้ และนำผลที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากร ซึ่งจะได้คู่ลำดับมาเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างพารेटอ (Pareto) ดังภาพที่ 55 จากนั้นทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 6 (Pareto front) โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 2 จุดเท่านั้น เท่ากับค่าติดตั้ง 400,000 บาท เมื่อมีการพิจารณาแล้วจึง

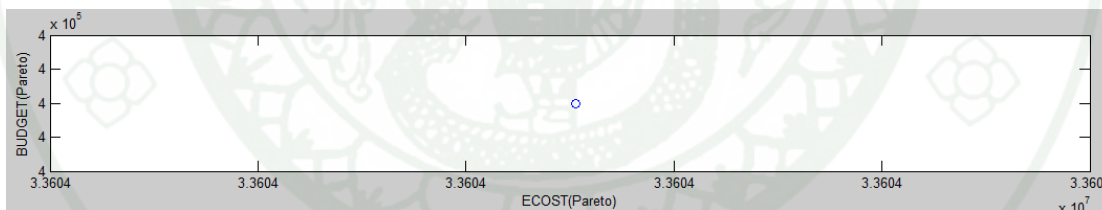
ได้เลือกคู่ลำดับในภาพที่ 56 นั้น เมื่อมีการแปลงเป็นตำแหน่งติดตั้ง LBS แล้วจะได้ตำแหน่งติดตั้ง  $R_2$  และ  $R_3$



ภาพที่ 54 ผลที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์



ภาพที่ 55 ผลที่ได้จากการหาเซตกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Set)



ภาพที่ 56 คำตอบที่ดีที่สุดของกรณีที่ 6 (Pareto front)

ตารางที่ 8 ผลการศึกษาระบบจำหน่ายการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (0=สวิตช์ใบมีด, 1=LBS)

กรณี	CC	Prob.	Prob.	MOGA	SAIFI	SAIDI	ENS	ECOST (ล้านบาท)	BUDGET (แสนบาท)	ตำแหน่ง (R)					
		LBS	สวิตช์ใบมีด							1	2	3	4	5	6
1	100%	1	N/A	N/A	0.79	3.95	98.48	22.55	1.2	1	1	1	1	1	1
2	N/A	N/A	1	N/A	3.97	7.13	183.90	38.53	0	0	0	0	0	0	0
3	99.5%	1	1	N/A	2.93	4.92	122.35	25.89	8	0	1	1	0	1	1
4	99.5%	0.6	1	N/A	3.97	5.39	140.42	29.43	8	0	1	1	0	1	1
5	100%	0.98	1	X	3.36	5.63	145.22	30.45	4	0	1	0	0	0	1
6	60%	0.98	1	X	3.97	6.29	160.02	33.60	4	0	1	1	0	0	0

## วิจารณ์

เมื่อนำระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาทดสอบกับระบบ DMS โดยได้กำหนดกรณีศึกษาต่างๆ อยู่ในตารางที่ 8 พร้อมแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของฟีดเดอร์ทดสอบ โดยทุกกรณีกำหนดว่าถ้าระยะเวลาไฟฟ้าดับน้อยกว่า 1 นาที จะไม่นำมาคำนวณ SAIFI และ SAIDI จากการศึกษาในกรณีที่ 1 ได้สมมติว่าติดตั้ง LBS ทุกตำแหน่ง และให้เวลา restoration เท่ากับ 0.001 ชั่วโมง ซึ่งเป็นกรณีที่ให้ความเชื่อถือได้ดีที่สุด ผลที่ได้คือ ค่า SAIFI เท่ากับ 0.79 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 3.95 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 98.48 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 22.55 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 1.2 แสนบาท ดังภาพที่ 46 และในกรณีที่ 2 ไม่ติดตั้ง LBS แต่ติดตั้งสวิตช์ไบมีด ทุกตำแหน่ง ให้เวลา restoration เท่ากับ 1 ชั่วโมง มีค่าดัชนีความเชื่อถือได้ต่ำสุด ส่งผลให้ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าสูงที่สุด ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 3.97 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 7.13 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 183.90 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ค่า ECOST เท่ากับ 38.53 ล้านบาท/ปี ส่วนค่า BUDGET นั้นไม่มีค่าใช้จ่าย เนื่องจากไม่มีการติดตั้ง LBS เลย ดังภาพที่ 47 เมื่อนำผลที่ได้จากกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 มาเปรียบเทียบกัน พบว่าค่าของ SAIFI เพิ่มขึ้น 402.53% ค่า SAIDI เพิ่มขึ้น 80.51% ค่า ENS เพิ่มขึ้น 86.74% และค่าของ ECOST เพิ่มขึ้น 70.86%

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ถูกควบคุมด้วยระบบ DMS ถูกพิจารณาในกรณีที่ 3 ถึงกรณีที่ 6 โดยในกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 กำหนดให้ความน่าจะเป็นในการทำงานของสวิตช์ไบมีด และการทำงานของระบบควบคุมเหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร เพื่อศึกษาว่ามีผลกระทบอย่างไรกับค่าดัชนี ได้กำหนดให้ LBS อยู่ในตำแหน่ง  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$ ,  $R_6$  ดังภาพที่ 48 ความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=100% สวิตช์ไบมีด=100% ในกรณีที่ 3 และความน่าจะเป็นในการทำงานของระบบสื่อสาร LBS=60% สวิตช์ไบมีด=100% ในกรณีที่ 4 โดยทั้งสองกรณีระบบควบคุมทำงาน 99.5% ผลที่ได้จากกรณีที่ 3 คือ SAIFI เท่ากับ 2.93 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 4.92 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 122.35 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 25.89 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 8 แสนบาท และกรณีที่ 4 ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 3.97 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 5.39 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 140.42 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 29.43 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 8 แสนบาท เมื่อนำผลที่ได้จากกรณีที่ 3 และกรณีที่ 4 มาเปรียบเทียบพบว่า ในกรณีที่ 4 มีค่า SAIFI เพิ่มขึ้น 35.49% ค่า SAIDI เพิ่มขึ้น 9.55% ส่วนค่า ECOST เพิ่มขึ้น 13.67%

และค่า ENS เพิ่มขึ้น 14.77% โดยค่า SAIFI เพิ่มขึ้นเนื่องจากในกรณีที่ 4 LBS มีความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จต่ำ จึงทำให้โอกาสที่จะ restoration ได้ภายใน 1 นาที เป็นไปได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่ 3

ในการศึกษากรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 ถ้าให้ความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบสื่อสารของ LBS=98% สวิตช์ใบมีด=100% โดยใช้ MOGA (Multi Objective Genetic Algorithms) เพื่อหาตำแหน่งติดตั้ง LBS และสวิตช์ใบมีดที่เหมาะสมที่สุด โดยสมมติว่ามีงบประมาณให้ติดตั้ง LBS เพียง 2 จุดเท่านั้น ซึ่งได้พิจารณาทั้งค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง LBS และความเสียหายที่เกิดจากไฟฟ้าขัดข้อง โดยทั้ง 2 กรณีนี้ต่างกันที่ระบบควบคุม DMS ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ 100% กับระบบควบคุม DMS ที่ทำงาน 60% ตามลำดับ ผลที่ได้จากกรณีที่ 5 ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 3.36 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 5.63 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 145.22 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 30.45 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 4 แสนบาท ดังภาพที่ 49 และกรณีที่ 6 ได้ค่า SAIFI เท่ากับ 3.97 ครั้ง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า SAIDI เท่ากับ 6.29 ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟ/ปี ค่า ENS เท่ากับ 160.02 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ส่วนค่า ECOST เท่ากับ 33.60 ล้านบาท/ปี และค่า BUDGET เท่ากับ 4 แสนบาท ดังภาพที่ 53 เมื่อนำผลที่ได้จากกรณีที่ 5 และกรณีที่ 6 มาเปรียบเทียบ ก็พบว่าเมื่อนำโอกาสในการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ DMS มาพิจารณาร่วมด้วย ทำให้ผลการจัดวางตำแหน่งของ LBS ที่เหมาะสมนั้นเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงชี้ให้เห็นว่าในการพิจารณาการวางตำแหน่ง LBS ให้เหมาะสมนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรพิจารณาค่าโอกาสในการทำงานผิดพลาดของ DMS เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้มีโอกาสที่จะเสีย เพราะถ้าหากไม่มีการพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้อาจจะผิดพลาด ซึ่งในกรณีที่ 5 มีการติดตั้ง LBS จำนวน 2 ตัว อยู่ในตำแหน่งที่  $R_2$   $R_6$  ส่วนกรณีที่ 6 มีการติดตั้ง LBS จำนวน 2 ตัว อยู่ในตำแหน่งที่  $R_2$   $R_3$  โดยในกรณีที่ 6 มีค่า SAIDI เพิ่มขึ้น 11.72% ค่า SAIFI เพิ่มขึ้น 18.15% ส่วนค่า ECOST เพิ่มขึ้น 10.34% และค่า ENS เพิ่มขึ้น 10.19% ดูจากตารางที่ 7

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบ DMS โดยใช้เทคนิค Event tree ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาหน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ DMS ให้ถ่องแท้เสียก่อน จากนั้นจึงสามารถวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นดังกล่าวได้จาก Event tree ที่สร้างขึ้น วิธีการที่นำเสนอได้ถูกทดสอบผ่านกรณีศึกษาต่างๆ กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริงของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้แก่ PTN411 และ KWA06 ตามลำดับ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายวัตถุประสงค์ เพื่อหาดำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง LBS (Load Break Switch) บนสายป้อน โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนและความเชื่อถือได้ของระบบร่วมกับระบบทดสอบข้างต้น จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง LBS เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบ DMS แตกต่างจากกรณีที่ไม่พิจารณาค่าความน่าจะเป็นดังกล่าว ดังนั้นเพื่อการตัดสินใจที่ถูกต้องในการปรับปรุงระบบในอนาคต จึงควรนำค่าความน่าจะเป็นในการทำงานสำเร็จของระบบ DMS มาพิจารณาในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายด้วย

### ข้อเสนอแนะ

การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายที่ถูกควบคุมด้วยระบบ DMS ตามที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ นั้น ยังมีได้พิจารณาการปรับปรุงความเชื่อถือได้ในแง่ของค่าดัชนี MAIFI ซึ่งผลที่ได้รับจากการพิจารณานี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีระดับความเชื่อถือได้ดีขึ้น และลดมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องได้หลากหลายยิ่งขึ้น

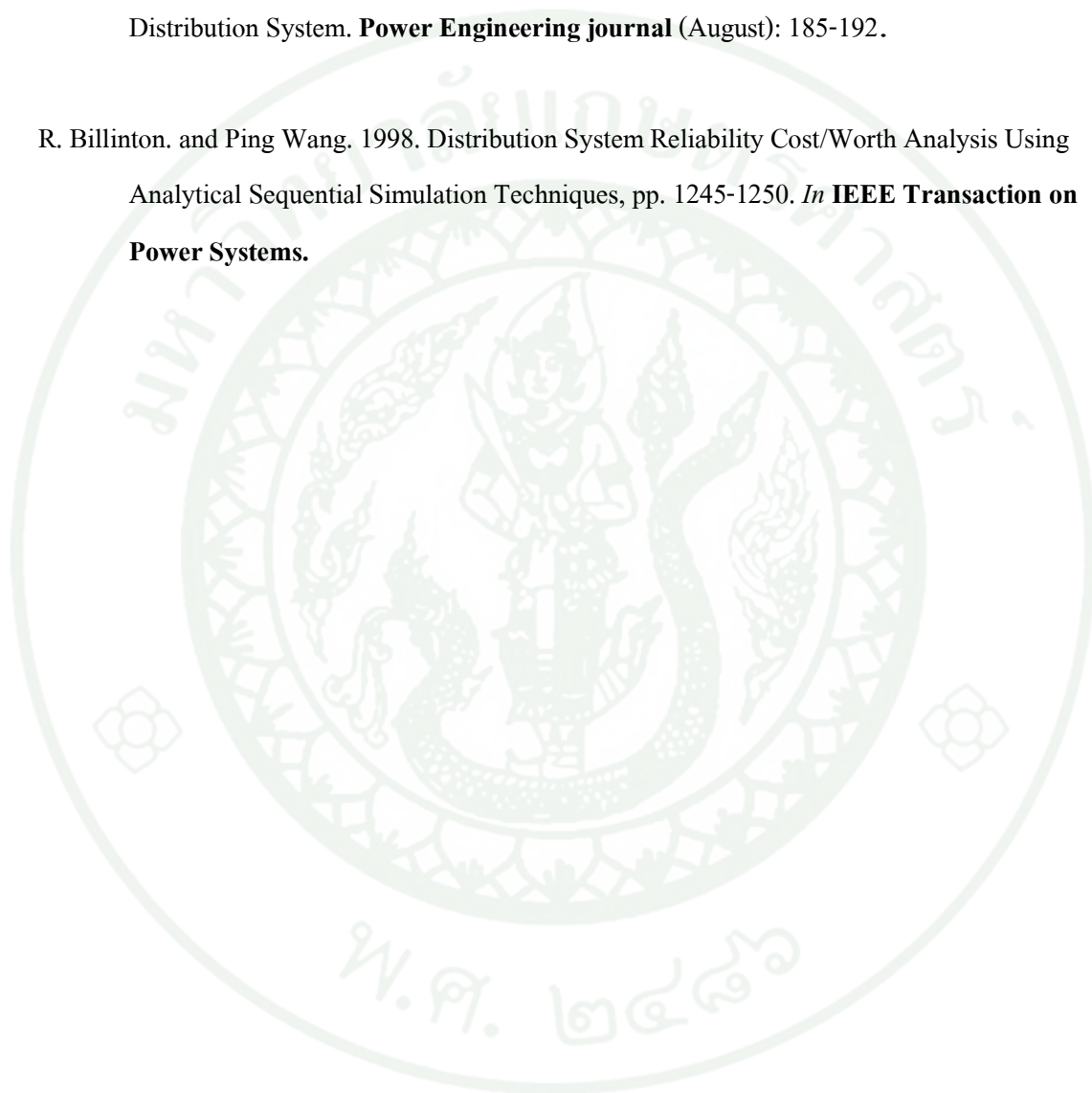
## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กิตติพงษ์ บุญโล่ง. 2554. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 16 (1) : 107-114.
- ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2549. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า. บริษัท ภูมิภาคพรินติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ปารเมศ ชูติมา, เพ็ญพักตร์ ปิ่นภูมิรี และ พัฒนพงษ์ แสงหัตพัฒนา. 2550. การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึม สำหรับปัญหาการ จัดลำดับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี, pp. 72-77. การประชุมวิชาการย้ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2555. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการ การศึกษาผลกระทบทางเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับในพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง และผลประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่ได้จากโครงการเปลี่ยนระบบสายอากาศเป็นสายใต้ดิน. 585 หน้า
- ภรณ์ยา อามฤครัตน์ และ พยุง มีสัง. 2555. การหาค่าเหมาะที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยขั้นตอนวิธีด้านวิวัฒนาการ. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ 8 (2): 73-80.
- Konak, A., D.W. Coit and E.S. Alice. 2006. Multi-objective optimization using genetic algorithms : A tutorial, pp. 992-1007. **Reliability Engineering and System Safety.**
- C. M. Fonseca and P. J. Fleming. 1998. Multiobjective Optimization and Multiple Constraint Handling with Evolutionary Algorithms Part 1: A Unified Formulation, . pp. 26-37. **In IEEE Trans.Syst.Man Cybern.A. Vol.28 January.**
- J. D. Schaffer. 1985. Multiobjective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms, pp. 93-100. **In GAs and their Application: Proc. Of 1st Inter Conf. on GAs.**

R. Billinton and R.N. Allan. 1992. **Reliability Evaluation of Engineering Systems Concept and Techniques**. Second Edition, Plenum Press.

R. Billinton and R.N. Allan. 1993. Power System Reliability and Its Assessment Part3 Distribution System. **Power Engineering journal** (August): 185-192.

R. Billinton. and Ping Wang. 1998. Distribution System Reliability Cost/Worth Analysis Using Analytical Sequential Simulation Techniques, pp. 1245-1250. *In IEEE Transaction on Power Systems*.



## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายพงศ์พัฒน์ อสุพงษ์พัฒนา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	9 ตุลาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ปี 2551 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้านครหลวง เขตบางกะปิ