วิทยานิพนธ์

การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

OPTIMAL ALLOCATION OF PREVENTIVE MAINTENANCE BUDGET FOR PEA ELECTRIC POWER DISTRIBUTION SYSTEMS

นายนิพนธ์ ภู่ทอง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Optimal Allocation of Preventive Maintenance Budget for PEA Electric Power Distribution Systems

นามผู้วิจัย นายนิพนธ์ ภู่ทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีระยศ แสนโภชน์, D.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 26 **เดือน** พฤษภาคม **พ.ศ.** 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Optimal Allocation of Preventive Maintenance Budget for PEA Electric Power Distribution Systems

โดย

นายนิพนธ์ ภู่ทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2551

นิพนธ์ ภู่ทอง 2551: การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 73 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้ทำการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยพิจารณาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์คือ มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง สถิติไฟฟ้าขัดข้องย้อนหลัง ปัจจัยสภาพแวดล้อม รวมไปถึงกิจกรรมการบำรุงรักษาแบบป้องกันและงบที่ใช้ ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง ได้แก่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกง ซึ่งเป็นระบบจำหน่าย 22 เควี ในพื้นที่เขตภาคกลาง

งานวิจัยนี้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวของระบบไฟฟ้ากับงบบำรุงรักษาแบบป้องกันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง และคำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากนั้นนำผลที่ได้ไปหางบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุด และคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างต่อไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาคในการแก้ปัญหา

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถนำวิธีการที่ได้ไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆทั่วประเทศ และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบจำหน่ายให้อยู่ในระดับที่มีความน่าเชื่อถือต่อไป

นิพนธ์ ภู่ทอง _____ _____ 20 / พ.ค. / 51

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nipon Phoothong 2008: Optimal Allocation of Preventive Maintenance Budget for PEA Electric Power Distribution Systems. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpreedapong, Ph.D. 73 pages.

This thesis proposes a practical method of optimal allocation of preventive maintenance budget for 22 kV or 33 kV power distribution systems of the Provincial Electricity Authority (PEA), Thailand. The historical outage data, customer outage costs, preventive maintenance activities and budget, and information of related factors are considered and obtained from PEA Bangpakong office.

In this research, the relationship between failure rate and preventive maintenance budget can be developed, and then the customer outage cost can be found. The total customer outage cost, system failure rate, system average interruption frequency index (SAIFI) and system average interruption duration index (SAIDI) are defined as the objective function to be minimized by the particle swarm optimization. The optimal preventive maintenance budget is obtained from the results of the optimization.

The proposed method can be applied to other areas and can be used for planning and maintenance improvement to maintain good reliability of power distribution systems.

Nipon Phoothong 20/05/08

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระยศ แสนโภชน์ กรรมการร่วม ดร. วินัย พฤกษะวัน ประธานการสอบ และ ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาช่วยแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนมาโดยตลอด และขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ในโครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลังที่สนับสนุน และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆแผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกงที่ให้ข้อมูลที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

นิพนธ์ ภู่ทอง

เมษายน 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (2)

สารบัญภาพ (5)

คำนำ 1

วัตถุประสงค์ 2

การตรวจเอกสาร 3

อุปกรณ์และวิธีการ 18

- อุปกรณ์ 18
- วิธีการ 18

ผลและวิจารณ์ 46

- ผล 46
- วิจารณ์ 65

สรุปและข้อเสนอแนะ 70

- สรุป 70
- ข้อเสนอแนะ 71

เอกสารและสิ่งอ้างอิง 72

ประวัติการศึกษา และการทำงาน 73

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าที่ได้จากการประเมินแบบสอบถามของเจ้าหน้าที่แผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง	22
2	ความยาวสาย ระยะทางผ่านแหล่งน้ำ และระยะทางในแต่ละชนิดสายของแต่ละสายป้อน	23
3	ระยะทางความหนาแน่นของต้นไม้ของแต่ละสายป้อน	25
4	จำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุต่างๆ ในปี พ.ศ. 2549 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง	26
5	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง	28
6	จำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน	30
7	พารามิเตอร์อัตราการล้มเหลวของแต่ละสายป้อน	32
8	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	36
9	ข้อมูลโหลดของผู้ใช้ไฟในแต่ละสายป้อน	36
10	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อน	38
11	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบและเวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้ต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลวของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง	44
12	ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อนจากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1	47
13	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549	48
14	อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อนจากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2	52
16	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549	53
17	อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2	54
18	ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อนจากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3	56
19	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549	58
20	อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3	59
21	ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อนจากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4	61
22	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549	62
23	อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	สรุปค่าอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI จากกรณีศึกษาที่ 1 ของทุกฟังก์ชั่นจุดประสงค์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี	65
25	ตารางเปรียบเทียบผลที่ต้องการจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์กับค่าที่เกิดขึ้นจริงปี พ.ศ. 2549	66

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ค่าเฉลี่ยการทำงาน เวลารอ และเวลาซ่อม เมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละครั้ง	6
2	รูปแบบการบำรุงรักษา	7
3	แนวโน้มอัตราการล้มเหลวของระบบที่มีลักษณะพื้นฐานแตกต่างกัน	12
4	แนวโน้มอัตราการล้มเหลวเมื่อมีการปรับปรุงลักษณะพื้นฐานของระบบ	12
5	แนวโน้มอัตราการล้มเหลวเมื่อมีกิจกรรมบำรุงรักษาและงบประมาณในกรณีต่างๆ	13
6	ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกันของการไฟฟ้า	14
7	การเคลื่อนที่ของอนุภาคในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค	16
8	ลำดับขั้นตอนการดำเนินการของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค	17
9	ลำดับขั้นตอนการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	19
10	ไฟล์สถิติเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องปี พ.ศ. 2546 – 2549 ในรูปแบบการจัดเก็บ Main database file (file.mdb)	20
11	ฐานข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องจากโปรแกรมจ่ายไฟ 3	20
12	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันของสายป้อน i	32
13	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางปะกง 3	34
14	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางสมัคร 1	34
15	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางสมัคร 2	35
16	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางวัว	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	กราฟมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ	51
18	กราฟอัตราการล้มเหลวที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ	55
19	กราฟค่าดัชนี SAIFI ที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ	60
20	กราฟค่าดัชนี SAIDI ที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ	64
21	จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1	67
22	จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2	67
23	จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3	68
24	จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4	68

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

λ	=	อัตราการล้มเหลว (Failure Rate)
λ_i	=	อัตราการล้มเหลวของสายป้อน i
$\lambda_{i,notPM}$	=	อัตราการล้มเหลวของสายป้อน i ซึ่งเกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน
$\lambda_{i,PM}$	=	อัตราการล้มเหลวของสายป้อน i ซึ่งเกิดจากสาเหตุที่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน
λ_{total}	=	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง
ω	=	ค่าพารามิเตอร์ความเฉื่อย (Inertia Weight)
BGR	=	สถานีไฟฟ้าบางปะกง 3
BSK	=	สถานีไฟฟ้าบางสมัคร 2
BSM	=	สถานีไฟฟ้าบางสมัคร 1
BWA	=	สถานีไฟฟ้าบางวัว
CBM	=	การบำรุงรักษาแบบตรวจวัดสภาพ (Condition Based Maintenance)
CCI	=	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้งอัตราการล้มเหลว (Customer Cost per Interruption)
d	=	ช่วงเวลาของการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง
DO	=	การปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย (Design Out)
FTM	=	การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance)
Gbest	=	ค่าคำตอบที่ดีที่สุดของกลุ่มประชากรในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค
IM	=	การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance)
k	=	จำนวนรอบในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค
LTE	=	การปรับรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน (Life Time Extension)
M	=	งบบำรุงรักษาแบบป้องกัน
MDT	=	ระยะเวลาเสียเฉลี่ย (Mean Downtime)
MTTF	=	ระยะเวลาทำงานเฉลี่ย (Mean Time to Failure)
MTTR	=	ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ย (Mean Time to Repair)
MWT	=	ระยะเวลารอเฉลี่ย (Mean Waiting Time)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

N_c	=	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้อง
N_i	=	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว
N_{out}	=	จำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้อง
N_T	=	จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของระบบที่พิจารณา
OCF	=	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของสายป้อน (Outage Cost of Feeder)
Pbest	=	ค่าคำตอบที่ดีที่สุดของอนุภาคในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค
PIC	=	สายหุ้มฉนวนบางส่วน (Partially Insulated Cable)
PM	=	การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance)
PSO	=	วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค
r_i	=	เวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละเหตุการณ์
S_i	=	ตำแหน่งของอนุภาค i ในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค
SAC	=	สายหุ้มฉนวน (Spaced Aerial Cable)
SAIDI	=	ดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (System Average Interruption Duration Index)
SAIFI	=	ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (System Average Interruption Frequency Index)
SAC	=	สายหุ้มฉนวน (Spaced Aerial Cable)
T	=	เวลาที่พิจารณาทั้งหมด
TOC	=	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวม (Total Outage Cost)
V_i	=	ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค i ในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค

การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

Optimal Allocation of Preventive Maintenance Budget for PEA Electric Power Distribution Systems

คำนำ

ระดับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้านับว่าเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้ชี้วัดคุณภาพการบริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเชื่อถือได้อย่างมาก คือ กิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันและงบที่ใช้ ซึ่งกิจกรรมบำรุงรักษาแต่ละกิจกรรมใช้งบไม่เท่ากัน และส่งผลต่อระดับความเชื่อถือได้ของระบบแตกต่างกัน ซึ่งในปัจจุบันการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันยังไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากนัก

ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะผลกระทบของผู้ใช้ไฟ (มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง) อัตราการล้มเหลวของระบบไฟฟ้า สถิติไฟฟ้าขัดข้องย้อนหลัง ลักษณะการจ่ายไฟพื้นฐาน ประกอบกับกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกัน และงบที่ใช้ย้อนหลัง ซึ่งการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนั้นเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยทำการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง ได้แก่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกง ซึ่งสามารถนำวิธีการที่ได้นี้ไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ทั่วประเทศ และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการปรับปรุงระบบ และวางแผนในด้านการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าต่อไป

วัตถุประสงค์

1. สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค

2. เพื่อสำรวจข้อมูลและศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ และงบประมาณ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเชื่อถือได้

3. เพื่อหาค่างบประมาณในการบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมสำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง

4. เพื่อหาจุดอิ่มตัวของการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง

5. เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องประกอบกับ มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง กิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกัน และงบประมาณที่ใช้

การตรวจเอกสาร

ดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าของระบบจำหน่าย

หน้าที่หลักประการหนึ่งของการไฟฟ้าฯ แต่ละแห่งคือ การจัดหาและจัดส่งกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีคุณภาพตามปริมาณความต้องการในราคา และระดับความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม ซึ่งเครื่องมือที่นำมาใช้แสดงระดับความเชื่อถือได้อย่างหนึ่งก็คือ ดัชนีความเชื่อถือได้ (Reliability Index) โดยดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายมีมากมายหลายดัชนี ในที่นี้จะกล่าวถึงดัชนีที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้คือ ค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (SAIFI) และค่าดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (SAIDI)

1. ค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย

ชำนาญ (2549) ค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย หรือ SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) หมายถึง ค่าดัชนีแสดงจำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้องเฉลี่ยที่กระทบต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย ในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ครั้ง/ราย/ระยะเวลา (เดือน, ปี) ซึ่งสามารถคำนวณได้ 2 วิธี

1.1 การคำนวณค่าดัชนี SAIFI จากสถิติไฟฟ้าขัดข้อง

$$SAIFI = \frac{\sum N_c}{N_T} \tag{1}$$

เมื่อ $\sum N_c$ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้องทั้งหมดทุกกรณี

N_T จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของระบบที่พิจารณา

1.2 การคำนวณค่าดัชนี SAIFI จากสมรรถนะของระบบ

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T} \tag{2}$$

เมื่อ λ_i อัตราการล้มเหลวของผู้ใช้ไฟกลุ่มที่ i

N_i จำนวนผู้ใช้ไฟในกลุ่มที่ i

N_T จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของระบบที่พิจารณา

2. ค่าดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย

ชำนาญ (2549) ค่าดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย หรือ SAIDI (System Average Interruption Duration Index) หมายถึง ค่าดัชนีแสดงระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องเฉลี่ยที่กระทบต่อผู้ใช้ไฟ 1 ราย ในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา มีหน่วยเป็น นาที/ราย/ระยะเวลา (เดือน, ปี) ซึ่งสามารถคำนวณได้ 2 วิธี

2.1 การคำนวณค่าดัชนี SAIDI จากสถิติไฟฟ้าขัดข้อง

$$SAIDI = \frac{\sum N_c d}{N_T} \tag{3}$$

เมื่อ N_c จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้อง

N_T จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของระบบที่พิจารณา

d ช่วงเวลาของการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง

2.2 การคำนวณค่าดัชนี SAIDI จากสมรรถนะของระบบ

$$SAIDI = \frac{\sum (\lambda_i \times r_i) N_i}{N_T} \tag{4}$$

เมื่อ λ_i อัตราการล้มเหลวของผู้ใช้ไฟกลุ่มที่ i

r_i เวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละเหตุการณ์

N_i จำนวนผู้ใช้ไฟในกลุ่มที่ i

N_T จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของระบบที่พิจารณา

ชำนาญ (2549) อัตราการล้มเหลว (Failure Rate) หมายถึง จำนวนครั้งที่อุปกรณ์ล้มเหลวต่อระยะเวลาที่พิจารณา หรือกล่าวได้ว่า อุปกรณ์ 1 ตัวเกิดการล้มเหลวกี่ครั้งในระยะเวลาที่พิจารณา มีหน่วยเป็น ครั้ง/ระยะเวลา

$$\lambda = \frac{N_{out}}{T} \tag{5}$$

เมื่อ N_{out} จำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้อง

T เวลาที่พิจารณาทั้งหมด

ยุทธวิธีการบำรุงรักษา

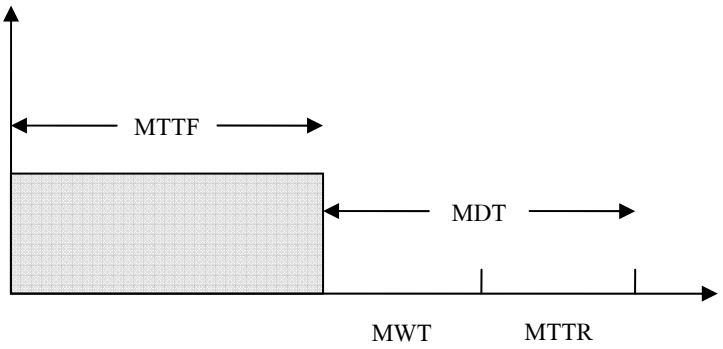
ชำนาญ (2549) การบำรุงรักษาเป็นเรื่องสำคัญมากซึ่งในอดีตอาจมองว่าหน่วยงานที่ทำเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเป็นหน่วยงานที่มีแต่ค่าใช้จ่าย แต่ความจริงแล้วหน่วยงานดังกล่าวเป็นหน่วยงานที่สำคัญและสร้างผลผลิตหรือรายได้ทางอ้อมให้กับองค์กร

การปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า นอกจากการลงทุนปรับปรุงระบบแล้วจะต้องอาศัยการทำการบำรุงรักษา ซึ่งต้องเข้าใจถึงวิธีการอย่างเป็นระบบ การบำรุงรักษาที่ดี ควรมีการศึกษาถึงรูปแบบการบำรุงรักษาแบบต่างๆและนำรูปแบบการบำรุงรักษาดังกล่าวไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุด

การบำรุงรักษา คือ การดำเนินกิจกรรมต่างๆทั้งหมดที่กระทำเพื่อรักษาให้ระบบมีสภาพดีหรือทำให้ระบบกลับคืนสู่สภาพเดิมตามที่กำหนด โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำการบำรุงรักษาสรุปได้ดังนี้

- ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์และระบบ
- เพื่อให้ค่าใช้จ่ายสำหรับการทำการบำรุงรักษาต่ำสุด
- คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานอุปกรณ์เป็นสำคัญ

ทั้งนี้การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบนั้นดำเนินการเพื่อเพิ่มเวลาเฉลี่ยการทำงานแต่ละครั้ง (MTTF) ของระบบและลดระยะเวลารอเฉลี่ย (MWT) และลดระยะเวลาซ่อมเฉลี่ย (MTTR) ของระบบดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งจะทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้มากขึ้น



MTTF; Mean Time to Failure - ระยะเวลาทำงานเฉลี่ย

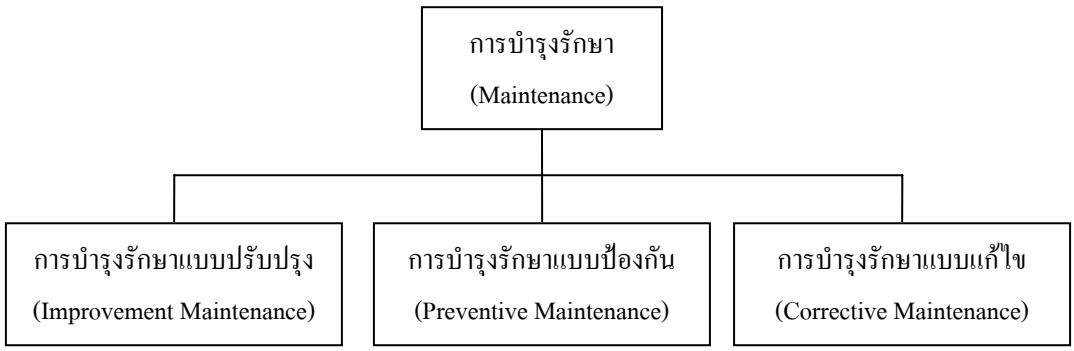
MDT; Mean Downtime - ระยะเวลาเสียเฉลี่ย

MWT; Mean Waiting Time - ระยะเวลารอเฉลี่ย

MTTR; Mean Time to Repair - ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ย

ภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยการทำงาน เวลารอ และเวลาซ่อม เมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละครั้ง

โดยรูปแบบการบำรุงรักษาสามารถแบ่งตามกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อให้ระบบทำงานได้ตามกำหนดได้ 3 ระดับ โดยเรียงลำดับเพื่อให้ระบบทำงานได้โดยไม่เกิดการขัดข้องหรือเกิดขัดข้องน้อยที่สุด คือ การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง การบำรุงรักษาแบบป้องกัน และการบำรุงรักษาแบบแก้ไข แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปแบบการบำรุงรักษา

1. การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance; IM)

การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง คือ การเลือกใช้ ดัดแปลง หรือปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ เพื่อให้ระบบทำงานได้ดีขึ้นกว่าเดิม ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะขจัดปัญหาออกไปจากระบบ มักเป็นการปรับปรุงครั้งเดียว ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ การปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย (Design Out) และการปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน (Life Time Extension)

1.1 การปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย (Design Out; DO)

เป็นการออกแบบระบบเพื่อขจัดปัญหา ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาแบบแรกที่ต้องพิจารณาว่าสามารถทำได้หรือไม่ และคุ้มกับการลงทุนหรือไม่ เพราะจะทำให้ความต้องการของการบำรุงรักษาลดลงและสมรรถนะความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพของระบบจะสูงขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงชนิดสายจากสายเปลือยเป็นสาย SAC (Spaced Aerial Cable) ในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากต้นไม้ หรือเนื่องจากมีวัตถุมาแตะสายเปลือยได้ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องหรือเกิดน้อยลงเนื่องจากต้นไม้แตะสายไฟหรือการเปลี่ยนจากสายเปลือยเป็นสายใต้ดิน เป็นต้น

1.2 การปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน (Life Time Extension; LTE)

เป็นการปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์หรือระบบให้มากที่สุด การปรับปรุงดังกล่าวเป็นการบำรุงรักษาอันดับสองรองจากการปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย

ต้องพิจารณาว่าสามารถทำได้หรือไม่ถ้าหากไม่สามารถทำการบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายได้ (Design Out)

การบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานเป็นการทำให้อุปกรณ์เสียด้วยจำนวนครั้งที่น้อยลง การปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานทางด้านไฟฟ้าที่ใช้กันมาก ได้แก่ การใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เต็มกำลัง เช่น การใช้โหลดของหม้อแปลงโดยจำกัดให้ไม่เกิน 80% ของพิกัดหม้อแปลงเพื่อยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงหรืออีกตัวอย่างของการปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน ได้แก่ การใช้ตัวหรี่ไฟกับหลอดอินแคนเดสเซนต์เพื่อยืดอายุการใช้งานของหลอดไส้จาก 1,000 ชั่วโมง เป็น 5,000 – 8,000 ชั่วโมง เป็นต้น

2. การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance; PM)

การบำรุงรักษาแบบป้องกัน หมายถึง กิจกรรมการบำรุงรักษาที่ได้มีการป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เสียหายแบบฉุกเฉิน ทำให้สามารถเตรียมการล่วงหน้าได้เพราะทราบสภาพอุปกรณ์ตลอดเวลา นั่นคือการบำรุงรักษาแบบป้องกันจะมีการวางแผนไว้ล่วงหน้าหรือโปรแกรมล่วงหน้าไว้เสมอ การบำรุงรักษาแบบป้องกันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง และการบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม

2.1 การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม (Indirect Preventive Maintenance)

หมายถึง การบำรุงรักษาเพื่อค้นหาจุดขัดข้องที่เพิ่งจะเริ่มเกิดขึ้นในอุปกรณ์ก่อนที่จะลุกลามไปจนเป็นความเสียหาย โดยการวัดหรือการตรวจวัดสภาพอุปกรณ์เพื่อให้ทราบสภาพการทำงานไม่ว่าด้วยสัมผัสทั้งห้าหรือด้วยการใช้เครื่องมือ การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อมจะไม่มีผลกระทบโดยตรงต่อสภาพของอุปกรณ์และมักเรียกว่า การตรวจวัดสภาพ (Condition Monitoring) หรือเรียกว่า “การบำรุงรักษาแบบตรวจวัดสภาพ (Condition Based Maintenance; CBM)” เช่น การตรวจวัดสภาพของระบบไฟฟ้าด้วยตาเปล่า ด้วยกล่องส่องความร้อน เป็นต้น

การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อมหรือการบำรุงรักษาแบบตรวจสภาพนั้นระบบหรืออุปกรณ์ไม่ได้มีสภาพดีขึ้น แต่ได้รับการตรวจเท่านั้นซึ่งการตรวจอาจตรวจด้วยสัมผัสทั้งห้า คือ การดมกลิ่น สัมผัส ชิม ใช้หูฟัง หรือมองด้วยตาเปล่า และอุปกรณ์ที่ได้รับการตรวจต้องมีการส่ออาการ

ให้เห็นด้วยจึงสามารถตรวจได้ เช่น ก่อนเสียก็จะมีความร้อนสูงหรือมีเสียงดัง เป็นต้น เมื่อตรวจพบแล้วว่าอุปกรณ์ใดกำลังจะเสียและถ้าปล่อยไว้ให้ทำงานต่อไปก็อาจนำไปสู่การเกิดไฟฟ้าขัดข้อง ดังนั้นก็สามารถวางแผนเพื่อการซ่อมได้ วิธีการนี้จะนำไปสู่การแก้ไขซึ่งเรียกว่า การแก้ไขแบบมีแผนซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

2.2 การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง (Direct Preventive Maintenance)

ได้แก่ การบำรุงรักษาที่มีผลโดยตรงกับอุปกรณ์ ทำให้อุปกรณ์มีสภาพที่ดีขึ้น ซึ่งกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงอาจมีการบำรุงรักษาแบบตามเวลา จำนวนครั้ง หรือระยะทาง เช่น การเปลี่ยนซีลยางของอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกสามปี การเปลี่ยนหน้าสัมผัสสวิตช์ตัดตอนเมื่อใช้งานไป 10,000 ครั้ง การเปลี่ยนน้ำมันหม้อแปลงทุก 5 ปี เป็นต้น โดยพิจารณาจากช่วงเวลาการเสียหายของแต่ละอุปกรณ์ การบำรุงรักษาลักษณะนี้เรียกว่า “การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance; FTM)” เพราะว่าการบำรุงรักษาทั้งหมดควบคุมโดยเวลา จำนวนครั้ง หรือระยะทางที่แน่นอน

การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดีขึ้นเพราะได้มีการเปลี่ยนแปลงอะไหล่หรืออุปกรณ์ย่อยเป็นระยะตามกำหนด การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่สามารถตรวจได้ด้วยการตรวจสภาพหรืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสภาพอาจมีราคาสูงมากจนทำให้ต้องหันมาใช้การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง

3. การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance; CM)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไข คือ การบำรุงรักษาทั้งหมดที่กระทำเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งเมื่อก่อนอาจจะเรียกกันว่า การบำรุงรักษาแบบฉุกเฉิน (Emergency Maintenance) หรือการบำรุงรักษาเมื่อเสียหาย (Breakdown Maintenance) ซึ่งอาจไม่ถูกต้องนัก เพราะการบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance) ไม่จำเป็นต้องเป็นการบำรุงรักษาเมื่อเสียหายหรือการบำรุงรักษาแบบฉุกเฉินเท่านั้น เนื่องจากบางครั้งอาจจะเป็นการแก้ไขสิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ก่อนที่จะลุกลามมากไปจนเสียหายฉุกเฉิน ดังนั้นการบำรุงรักษาแบบแก้ไขจึงแบ่งออกได้เป็น 2 อย่างคือ การแก้ไขแบบไม่มีแผน (Unplanned Corrective Maintenance) และการแก้ไขแบบมีแผน (Planned Corrective Maintenance)

3.1 การแก้ไขแบบมีแผน (Planned Corrective Maintenance)

หมายถึง การแก้ไขที่ได้มีการวางแผนไว้ล่วงหน้าเมื่อทราบว่าระบบมีปัญหาและอาจเกิดการขัดข้องได้ถ้าไม่ได้รับการแก้ไข การแก้ไขแบบมีแผนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีการตรวจวัดสภาพจากการบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม ทำให้ทราบว่าอุปกรณ์และระบบส่วนใดกำลังจะเสียหาย ทำให้สามารถเตรียมการเรื่องเครื่องมือและอื่นๆที่ต้องใช้ในการซ่อมทำให้ลดเวลาในการรอและเวลาในการซ่อมลง

3.2 การแก้ไขแบบไม่มีแผน (Unplanned Corrective Maintenance)

หมายถึง การแก้ไขโดยไม่ได้มีการวางแผนไว้เพราะระบบเกิดขัดข้องโดยไม่ทราบล่วงหน้า การแก้ไขแบบนี้มีค่าเวลาเฉลี่ยในการรอค่อนข้างนานเพราะนอกจากความไม่พร้อมในการเตรียมการก่อนที่จะเริ่มงานบำรุงรักษา ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของกำลังคน เอกสารทางเทคนิค และอะไหล่ต่างๆ ยังต้องรอซ่อมเพราะไม่ได้มีการวิเคราะห์เรื่องการเสียของอุปกรณ์ก่อนซ่อมด้วย ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบำรุงรักษาแบบไม่มีแผนสูงมากทั้งทางตรงซึ่งเนื่องมาจากความเสียหายของอุปกรณ์ และทางอ้อมซึ่งได้แก่ความสูญเสียในการผลิตและคุณภาพของผลผลิต

พื้นฐานการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุด

1. ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ใช้ประกอบการพิจารณาจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประกอบด้วย

1.1 ลักษณะการจ่ายไฟพื้นฐาน

หมายถึง ข้อมูลลักษณะการจ่ายไฟพื้นฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เช่น ความยาววงจรกิโลเมตร จำนวนและชนิดของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า สภาพแวดล้อม เป็นต้น

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมการบำรุงรักษาแบบป้องกัน งบประมาณที่ใช้ และความเชื่อถือได้

กิจกรรมการบำรุงรักษาแต่ละกิจกรรมใช้งบประมาณไม่เท่ากัน และส่งผลต่อความเชื่อถือได้ของระบบแตกต่างกัน วิทยานิพนธ์นี้จะสำรวจข้อมูลค่าใช้จ่ายของกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ และหาความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่เปลี่ยนแปลงไป

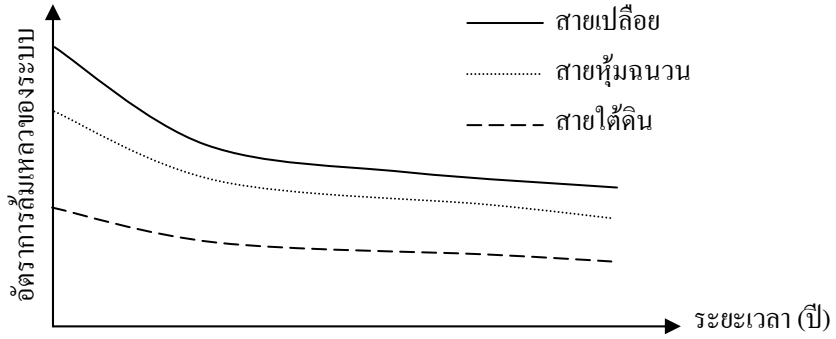
1.3 มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง

เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มทุนในการลงทุนทำกิจกรรมบำรุงรักษา จึงจำเป็นต้องทราบมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในแต่ละสายป้อนด้วย

2. แนวโน้มอัตราการล้มเหลวของระบบ

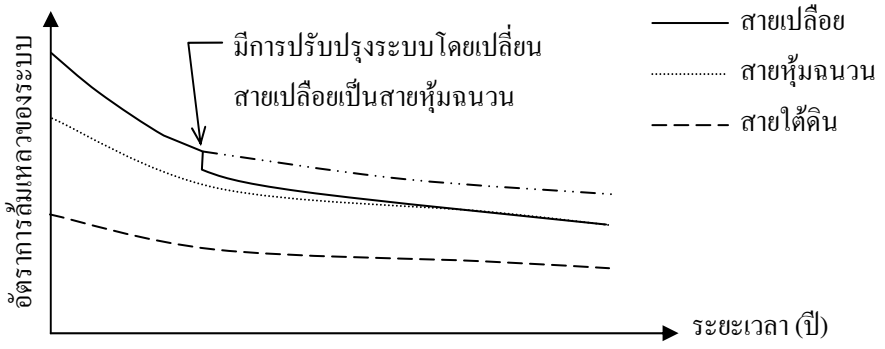
โดยทั่วไปความเชื่อถือได้ของระบบจะมีค่าไม่แน่นอน เนื่องจากการล้มเหลวในระบบเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย ทั้งจากปัจจัยภายนอกและภายในของระบบ ซึ่งควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามหากมีการบำรุงรักษาและปรับปรุงระบบให้ดีขึ้น ความเชื่อถือได้ของระบบย่อมจะมีแนวโน้มที่ดีขึ้น

พิจารณาภาพที่ 3 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการล้มเหลวของระบบที่มีลักษณะพื้นฐานแตกต่างกันแต่มีการบำรุงรักษาที่เท่าๆกัน จะเห็นว่า ระบบที่มีลักษณะพื้นฐานดีกว่าจะมีอัตราการล้มเหลวน้อยกว่า และเมื่อมีการบำรุงรักษาที่ดีขึ้นในแต่ละปี อัตราการล้มเหลวของระบบก็จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดอิ่มตัว นั่นคือ แม้ว่าในปีต่อๆไป จะมีการบำรุงรักษาที่ดีมากขึ้นหรือใช้เงินลงทุนเพิ่มมากขึ้นเท่าใดก็ตาม อัตราการล้มเหลวของระบบกลับลดลงเพียงเล็กน้อยหรือมีค่าเกือบคงที่



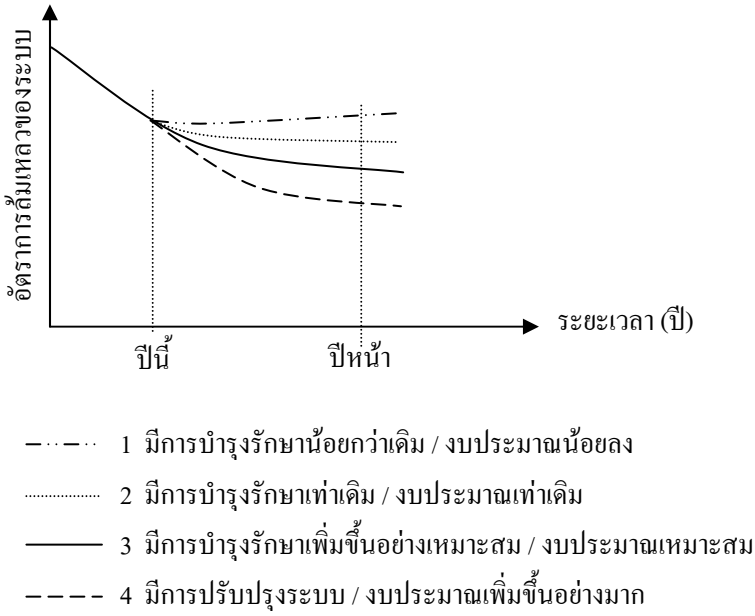
ภาพที่ 3 แนวโน้มอัตราการล้มเหลวของระบบที่มีลักษณะพื้นฐานแตกต่างกัน

ตัวอย่างการปรับปรุงการบำรุงรักษาให้ดีขึ้น เช่น การเพิ่มจำนวนพนักงานปฏิบัติการและบำรุงรักษา การเพิ่มความถี่ในการส่องจุดร้อนพร้อมทั้งการแก้ไขจุดร้อน การฉีดน้ำล้างลูกถ้วย การตัดต้นไม้ในช่วงเวลาที่เหมาะสมยิ่งขึ้น การปรับปรุงวิธีการในการตัดต้นไม้ให้มีประสิทธิภาพ การเพิ่มการตระเวนตรวจระบบไฟฟ้า (Patrol) ตลอดจนการอบรมเพื่อพัฒนาความชำนาญของพนักงานปฏิบัติการและบำรุงรักษา เป็นต้น อย่างไรก็ตาม หากค่าความเชื่อถือได้ที่จุดอิ่มตัวของระบบ ยังไม่เป็นที่พอใจ ก็อาจจะต้องมีการปรับปรุงลักษณะพื้นฐานของระบบ เช่น การเปลี่ยนจากสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน หรือเปลี่ยนจากระบบจำหน่ายเหนือดินเป็นระบบจำหน่ายใต้ดิน ซึ่งจะช่วยให้ความเชื่อถือได้ของระบบดีขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4 แต่ทั้งนี้ก็ต้องอาศัยงบประมาณลงทุนที่สูงมากเมื่อเทียบกับการบำรุงรักษาในแต่ละปี



ภาพที่ 4 แนวโน้มอัตราการล้มเหลวเมื่อมีการปรับปรุงลักษณะพื้นฐานของระบบ

พิจารณาภาพที่ 4 จะเห็นว่าเมื่อมีการปรับปรุงระบบโดยเปลี่ยนจากสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน อัตราการล้มเหลวของระบบจะค่อยๆลดลงเรื่อยๆโดยไม่ได้ลดลงจนเท่ากับระบบที่เป็นสายหุ้มฉนวนอยู่แล้วอย่างทันทีทันใด ภาพที่ 5 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอัตราการล้มเหลวของระบบเมื่อมีกิจกรรมบำรุงรักษาหรืองบประมาณบำรุงรักษาแตกต่างกันในกรณีต่างๆ 4 กรณี ซึ่งโดยทั่วไปจะพบว่าแนวโน้มอัตราการล้มเหลวที่เกิดขึ้นมักอยู่ระหว่างเส้น 2 กับ 3



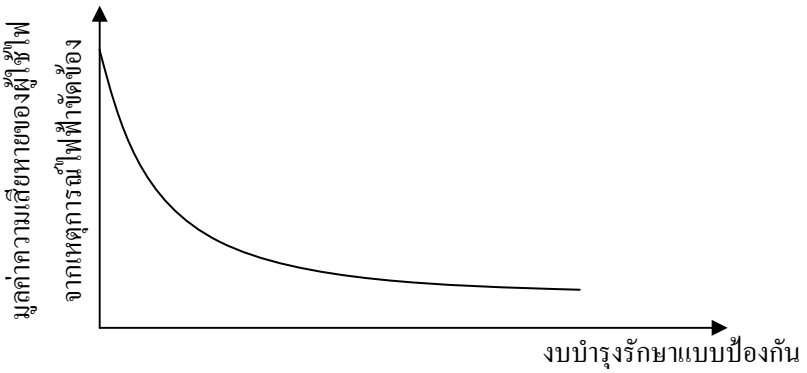
ภาพที่ 5 แนวโน้มอัตราการล้มเหลวเมื่อมีกิจกรรมบำรุงรักษาและงบประมาณในกรณีต่างๆ

3. จุดคุ้มทุน

การลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันต้องพิจารณาถึงความคุ้มทุนและการจัดสรรงบประมาณที่เหมาะสมอีกด้วย ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการลงทุนสูงมากเกินไปโดยไม่จำเป็นกับการไฟฟ้าหรือสายป้อนที่มีความสำคัญน้อย

การจัดลำดับความสำคัญของการไฟฟ้า หรือของสายป้อนต่างๆ มักพิจารณาเปรียบเทียบด้วยมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง โดยนำมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องมาเปรียบเทียบกับงบประมาณที่ต้องลงทุนเพื่อให้ได้ตามค่าเป้าหมายนั้น ซึ่งหากต้องใช้งบประมาณในการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นแล้วไม่สามารถลดมูลค่าความเสียหายจาก

เหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องลงได้ ก็ถือว่าค่าเป้าหมายนั้นอาจจะไม่เหมาะสม คือ ผลที่ได้ไม่คุ้มทุนนั่นเอง ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกันของการไฟฟ้า



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกันของการไฟฟ้า

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค

Kuntz *et al.* (2002); Gaing (2003); Park *et al.* (2006); Liu and Cartes (2006) ในปี พ.ศ. 2538 Kennedy และ Eberhart ได้นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาคขึ้น โดยได้แรงบันดาลใจมาจากพฤติกรรมการเคลื่อนที่ภายในฝูงของสิ่งมีชีวิต เช่น พฤติกรรมของฝูงปลาการจับกลุ่มของฝูงนก เป็นต้น โดยในการเคลื่อนที่ของสมาชิกในฝูงนั้นจะมีการแลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกันเป็นผลให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการเคลื่อนที่ของฝูง โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาคนั้นเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มประชากร ซึ่งมีส่วนเล็กๆที่เรียกว่าอนุภาค ให้ S_i แทนตำแหน่งของอนุภาค $(S_i = (s_{i1},...,s_{in}))$ ในแต่ละอนุภาคจะเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเองตามจำนวนรอบ ให้ V_i แทนความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค $(V_i = (v_{i1},...,v_{in}))$ ในระบบของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาคนั้น แต่ละอนุภาคจะเปลี่ยนตำแหน่งไปเรื่อยๆในกลุ่มคำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้ (Search Space) ในแต่ละรอบของการเปลี่ยนตำแหน่งนั้น แต่ละอนุภาคจะเปลี่ยนตำแหน่งโดยใช้ประสบการณ์ของตัวเอง ($Pbest$) โดยที่ $Pbest_i = (s_{i1}^{Pbest},...,s_{in}^{Pbest})$ และประสบการณ์ของอนุภาคข้างเคียง ($Gbest$) โดยที่ $Gbest = (s_{i1}^{Gbest},...,s_{in}^{Gbest})$ มาช่วยในการตัดสินใจ โดยมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคตามสมการที่ 6

$$V_i^{k+1} = \omega V_i^k + c_1 rand_1 \times (Pbest_i^k - S_i^k) + c_2 rand_2 \times (Gbest^k - S_i^k) \quad (6)$$

โดยที่ V_i^k ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค i ในรอบที่ k

ω ค่าพารามิเตอร์ความเฉื่อย (Inertia Weight)

c_1, c_2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง (Acceleration Coefficients)

$rand_1, rand_2$ ค่าตัวเลขสุ่ม มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 1

S_i^k ตำแหน่งของอนุภาค i ในรอบที่ k

$Pbest_i^k$ ค่าคำตอบที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ i ตั้งแต่รอบที่ 1 ถึงรอบที่ k

$Gbest^k$ ค่าคำตอบที่ดีที่สุดของกลุ่มประชากรตั้งแต่รอบที่ 1 ถึงรอบที่ k

โดยค่าพารามิเตอร์ความเฉื่อย (Inertia Weight) คำนวณได้จากสมการที่ 7

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{k_{\max}} \times k \quad (7)$$

โดยที่ ω_{min} ค่าพารามิเตอร์ความเฉื่อยเริ่มต้น

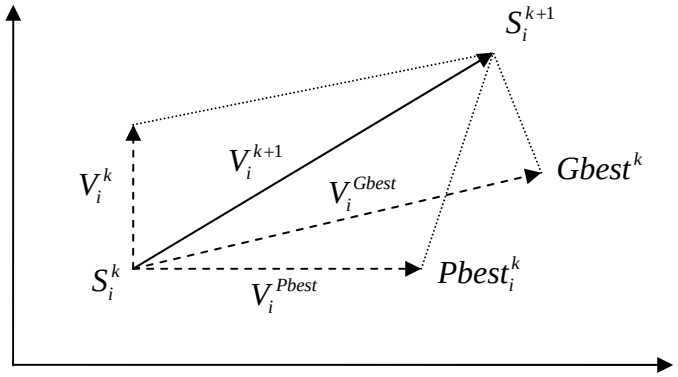
ω_{max} ค่าพารามิเตอร์ความเฉื่อยสุดท้าย

k_{max} จำนวนรอบสูงสุด

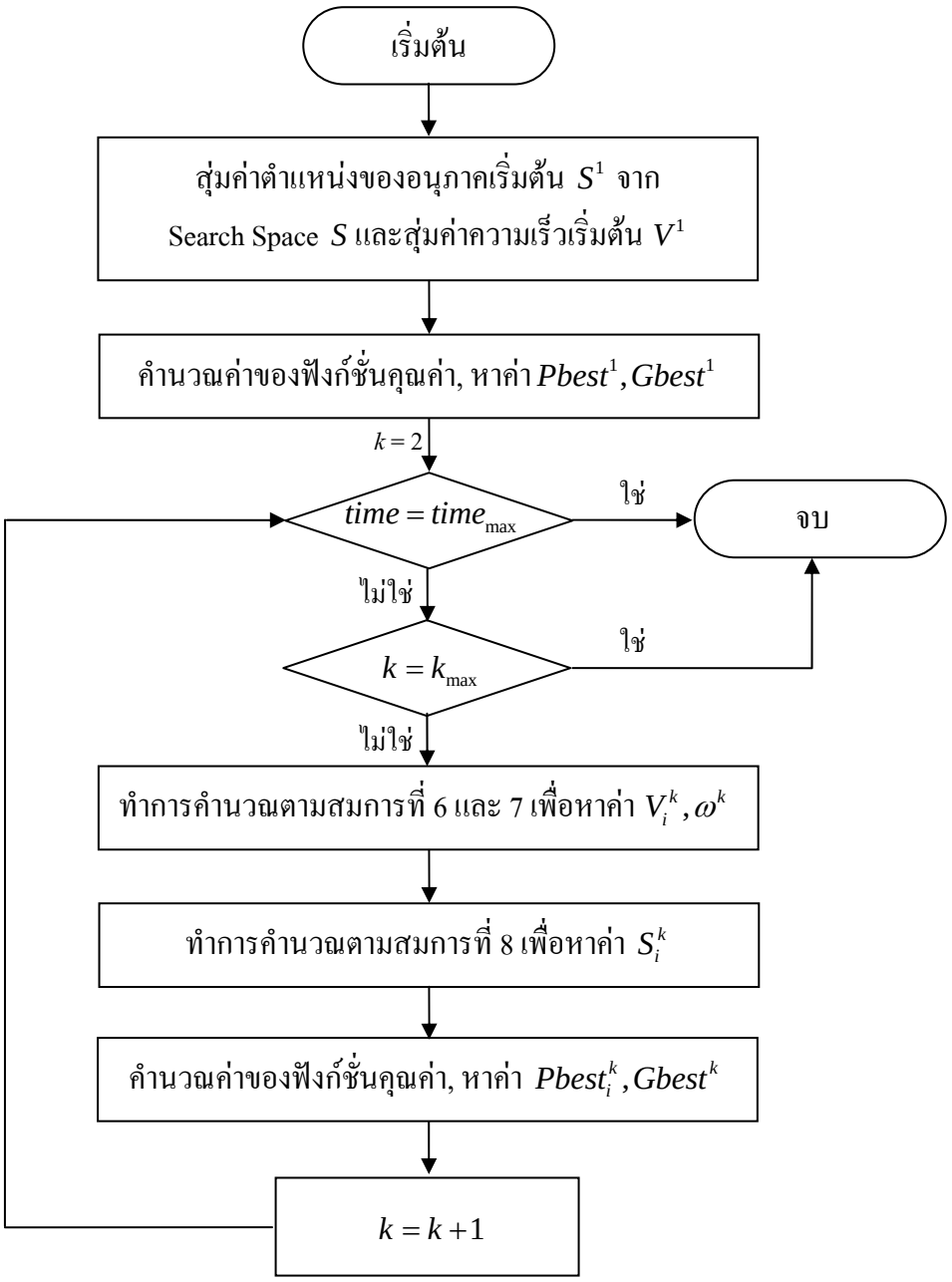
แต่ละอนุภาคเคลื่อนที่จากตำแหน่งปัจจุบันไปตำแหน่งต่อไปด้วยสมการที่ 8

$$S_i^{k+1} = S_i^k + V_i^{k+1} \quad (8)$$

ภาพที่ 7 แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยการปรับปรุงความเร็วและตำแหน่งของอนุภาคตามสมการที่ 6 และ 8 ตามลำดับ และภาพที่ 8 แสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค



ภาพที่ 7 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค



ภาพที่ 8 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค

อุปกรณ์และวิธีการ

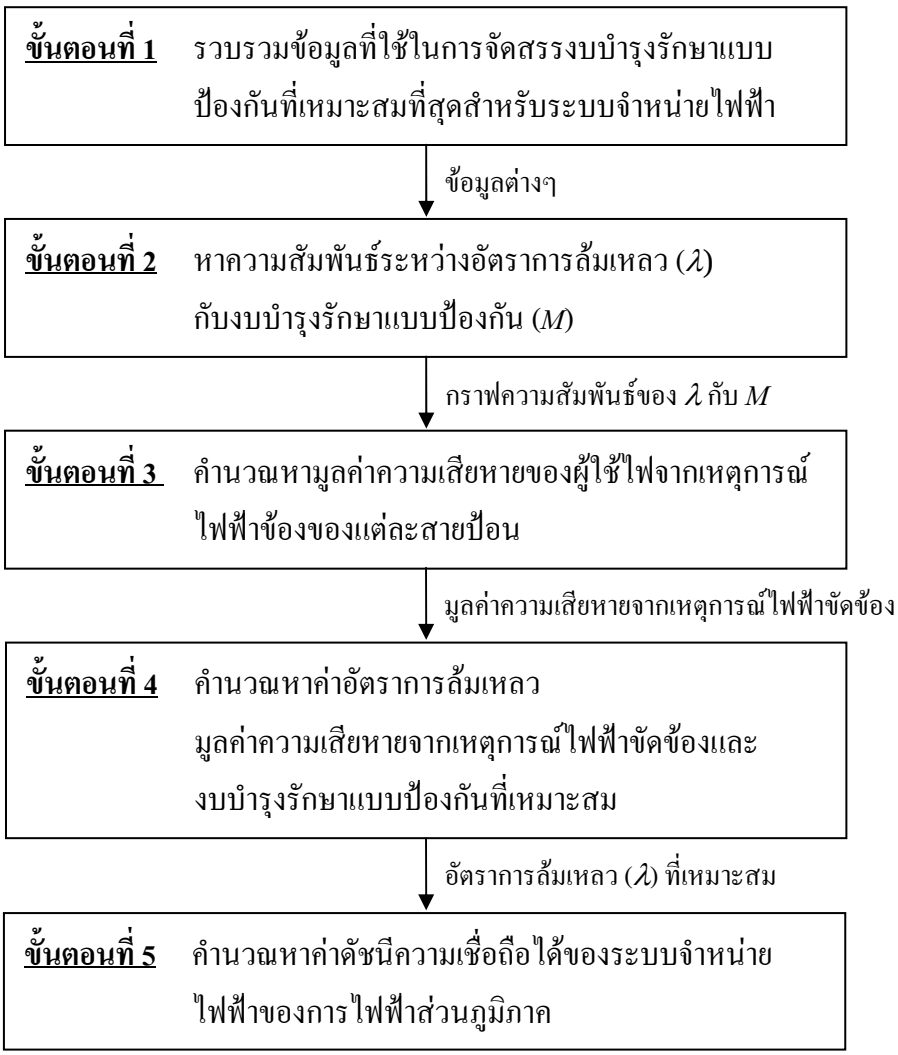
อุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับทำวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
3. โปรแกรม Microsoft Office 2003 (Words, Excel, PowerPoint และ Access)
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิศวกรรม คณิตศาสตร์ MATLAB version 7 ในวิทยานิพนธ์นำมาใช้เขียนโปรแกรมแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค
5. เครื่อง Printer และอื่นๆ

วิธีการ

วิธีการในการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในวิทยานิพนธ์นี้สรุปไว้ในภาพที่ 9 โดยขั้นตอนที่ 1 จะทำการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง เช่น ข้อมูลลักษณะการจ่ายไฟพื้นฐาน ปัจจัยแวดล้อมในแต่ละสายป้อน ข้อมูลกิจกรรมการบำรุงรักษาแบบป้องกันและงบที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม สถิติไฟฟ้าขัดข้องย้อนหลัง เป็นต้น จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกันในขั้นตอนที่ 2 และหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในขั้นตอนที่ 3 นำความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน และมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ไปคำนวณหาอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 4 หลังจากนั้นจะนำค่าอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมที่ได้ในขั้นตอนที่ 4 ไปคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในขั้นตอนที่ 5 ต่อไป

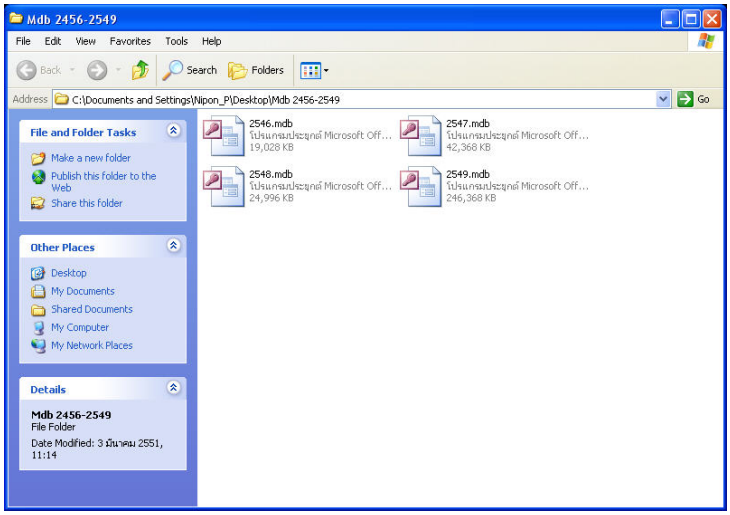


ภาพที่ 9 ลำดับขั้นตอนการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

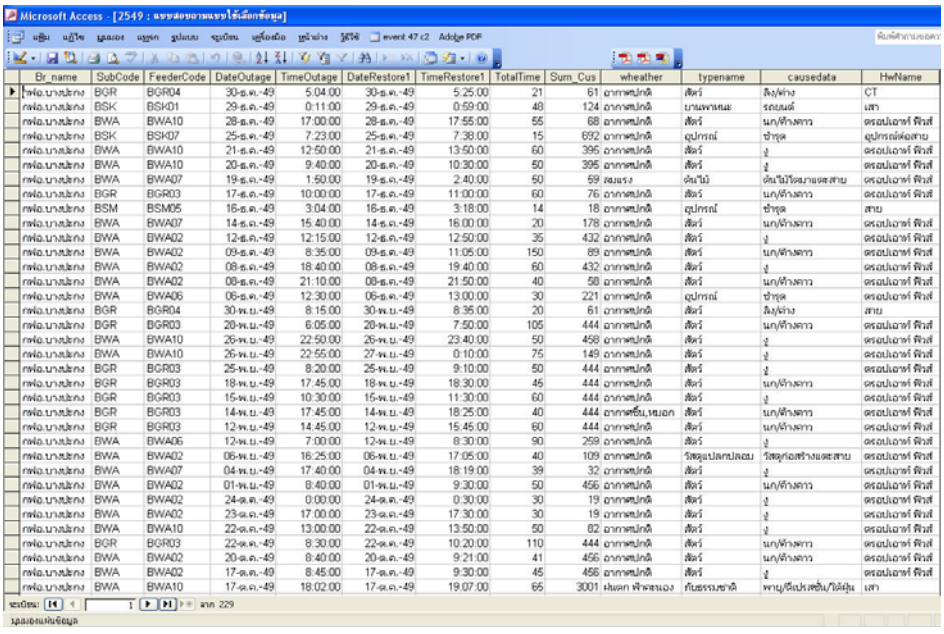
1. ข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

จำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องสามารถหาได้จากข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายที่ทำการบันทึกไว้ในฐานข้อมูลโปรแกรมจ่ายไฟ 3 (จฟ.3) ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการบันทึกเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องโดยใช้โปรแกรม จฟ.3 (เป็นโปรแกรมที่พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในแผนกควบคุมการจ่ายไฟใช้ลงบันทึกเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ (SAIFI และ SAIDI) โดยข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากแผนกวิเคราะห์ความเชื่อถือได้

กองควบคุมการจ่ายไฟ ฝ่ายควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำการบันทึกไว้ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งสามารถหาจำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้องแยกเป็นแต่ละสาเหตุของแต่ละสายป้อนได้ โดยได้รับข้อมูลมาในรูปแบบการจัดเก็บ Main database file (file.mdb) ดังแสดงในภาพที่ 10 และคัดเลือกเฉพาะคอลัมน์ที่ต้องนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 10 ไฟล์สถิติเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องปี พ.ศ. 2546 – 2549 ในรูปแบบการจัดเก็บ Main database file (file.mdb)



ภาพที่ 11 ฐานข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องจากโปรแกรมจ่ายไฟ 3

ในข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคคัดเลือกเฉพาะคอลัมน์ที่ต้องนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ มีทั้งหมด 13 คอลัมน์ ดังนี้

- Br_name หมายถึง การไฟฟ้าต่างๆ
- SubCode หมายถึง สถานีไฟฟ้าต่างๆ
- FeederCode หมายถึง สายป้อนของสถานีไฟฟ้าต่างๆ
- DateOutage หมายถึง วันที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง
- TimeOutage หมายถึง เวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง
- DateRestore1 หมายถึง วันที่สามารถจ่ายไฟกลับได้
- TimeRestore1 หมายถึง เวลาที่สามารถจ่ายไฟกลับได้
- TotalTime หมายถึง ระยะเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง
- Sum_Cus หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง
- Wheather หมายถึง สภาพอากาศขณะเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง
- typename หมายถึง สาเหตุของเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง
- causedata หมายถึง ลักษณะอาการของตัวกระทำ
- HwName หมายถึง อุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบ

2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกันนั้นได้มาจากการประเมินแบบสอบถามของเจ้าหน้าที่แผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกงซึ่งเป็นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างจำนวน 8 ท่าน ในเรื่องผลจากการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันที่มากขึ้นหรือลดลงจะส่งผลกับจำนวนครั้งการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกันมากน้อยอย่างไร แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกันได้แก่ การเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่มีสาเหตุมาจากต้นไม้ ป้องกันโดยทำการตัดต้นไม้บริเวณรอบๆสายจำหน่าย การเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่มีสาเหตุมาจากสัตว์ ป้องกันโดยติดตั้งการ์ดกันสัตว์ ซึ่งในบริเวณพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างนั้นได้ติดตั้งการ์ดกันสัตว์เพียงอย่างเดียวคือการ์ดกันงู การเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่มีสาเหตุมาจากอุปกรณ์ ป้องกันโดย การตรวจสอบและ

แก้ไขอุปกรณ์ที่ชำรุด ร่วมกับข้อมูลปัจจัยแวดล้อมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 2 – 3 จำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกันของปี พ.ศ.2549 แสดงในตารางที่ 4 และงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันแยกตามสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้องของปี พ.ศ.2549 แสดงในตารางที่ 5

โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกงที่เป็นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างนั้น มีสถานีไฟฟ้าที่อยู่ในความดูแลทั้งสิ้น 4 สถานีไฟฟ้า คือ

1. สถานีไฟฟ้าบางปะกง 3 (BGR) มีสายป้อนจำนวน 10 สายป้อน คือ BGR01 – BGR10
2. สถานีไฟฟ้าบางสมัคร 1 (BSM) มีสายป้อนจำนวน 14 สายป้อน คือ BSM01 – BSM14
3. สถานีไฟฟ้าบางสมัคร 2 (BSK) มีสายป้อนจำนวน 10 สายป้อน คือ BSK01 – BSK10
4. สถานีไฟฟ้าบางวัว (BWA) มีสายป้อนจำนวน 10 สายป้อน คือ BWA01 – BWA10

ในปี พ.ศ. 2549 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างนั้นมีสายป้อนที่ไม่ได้จ่ายไฟอยู่จำนวน 7 สายป้อนคือ BGR01, BGR06, BSM04, BSM09, BSK02, BSK04 และ BSK06 จึงไม่ได้นำมาศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้

ตารางที่ 1 ค่าที่ได้จากการประเมินแบบสอบถามของเจ้าหน้าที่แผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง

สาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง	ปัจจัยแวดล้อม	จำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากปี พ.ศ.2549		
		ถ้าไม่ทำการบำรุงรักษา	ถ้าใช้งบบำรุงรักษา 50% ของปี พ.ศ. 2549	ถ้าใช้งบบำรุงรักษา 200% ของปี พ.ศ. 2549
ต้นไม้	ต้นไม้หนาทึบ (>80 ต้น/กม.)	+800%	+300%	-60%
	ต้นไม้ปานกลาง (41-80 ต้น/กม.)	+500%	+200%	-80%
	ต้นไม้เบาบาง (11-40 ต้น/กม.)	+300%	+100%	-90%

ตารางที่ 1 (ต่อ)

สาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง	ปัจจัยแวดล้อม	จำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากปี พ.ศ.2549		
		ถ้าไม่ทำการบำรุงรักษา	ถ้าใช้งบบำรุงรักษา 50% ของปี พ.ศ. 2549	ถ้าใช้งบบำรุงรักษา 200% ของปี พ.ศ. 2549
ต้นไม้	ที่โล่ง (<10 ต้น/กม.)	-	-	-
สัตว์ (งู)	ติดแหล่งน้ำ	+500%	+300%	-50%
	ไม่ติดแหล่งน้ำ	+200%	+100%	-70%
อุปกรณ์ (สาย)	สายเปลือย	+200%	+100%	-50%
	สาย PIC	+100%	+75%	-60%
	สาย SAC	+75%	+50%	-80%
อุปกรณ์ (ลูกถ้วย)		+150%	+60%	-50%
อุปกรณ์ (อุปกรณ์ป้องกัน)		+100%	+60%	-50%
อุปกรณ์ (หม้อแปลง)		+100%	+50%	-50%

ตารางที่ 2 ความยาวสาย ระยะทางผ่านแหล่งน้ำ และระยะทางในแต่ละชนิดสายของแต่ละสายป้อน

สายป้อน	ความยาวสายป้อน (กม.)	ระยะทาง (กม.)			
		ผ่านแหล่งน้ำ	ชนิดสาย		
			เปลือย	PIC	SAC
BGR02	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00
BGR03	89.80	40.00	31.80	48.00	10.00
BGR04	10.27	0.00	0.00	9.35	0.92
BGR05	49.40	0.00	0.00	0.00	49.40
BGR07	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50
BGR08	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50
BGR09	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50
BGR10	0.60	0.00	0.00	0.00	0.60
BSM01	3.50	0.00	1.56	0.00	1.94

ตารางที่ 2 (ต่อ)

สายป้อน	ความยาวสายป้อน (กม.)	ระยะทาง (กม.)			
		ผ่านแหล่งน้ำ	ชนิดสาย		
			เปลือย	PIC	SAC
BSM02	7.90	0.00	2.00	0.50	5.40
BSM03	5.60	0.00	0.00	0.00	5.60
BSM05	7.70	0.00	0.00	0.00	7.70
BSM06	5.65	0.00	0.00	0.00	5.65
BSM07	2.00	0.00	0.00	0.00	2.00
BSM08	0.50	0.00	0.00	0.00	0.50
BSM10	2.10	0.00	0.00	0.00	2.10
BSM11	5.00	0.00	0.00	0.00	5.00
BSM12	3.00	0.00	0.00	0.00	3.00
BSM13	5.45	0.00	0.00	0.00	5.45
BSM14	6.95	0.00	0.00	0.00	6.95
BSK01	4.50	0.00	0.00	4.50	0.00
BSK03	4.50	0.00	0.00	0.00	4.50
BSK05	29.20	4.40	12.80	7.95	8.45
BSK07	16.00	4.00	7.20	4.90	3.90
BSK08	3.90	0.00	0.00	0.66	3.24
BSK09	3.10	0.00	0.00	0.48	2.62
BSK10	7.40	0.00	0.00	5.87	1.53
BWA01	35.00	0.00	0.00	0.00	35.00
BWA02	77.55	37.00	0.00	53.93	23.62
BWA03	30.30	0.00	0.00	0.00	30.30
BWA04	37.40	0.00	0.00	16.58	20.82
BWA05	12.50	0.00	0.00	6.00	6.50
BWA06	51.60	0.00	13.46	0.00	38.14
BWA07	62.50	0.00	10.00	32.50	20.00
BWA08	40.94	0.00	0.00	31.61	9.33
BWA09	22.50	1.00	18.00	4.50	0.00
BWA10	74.70	2.30	0.00	64.70	10.00

ตารางที่ 2 (ต่อ)

หมายเหตุ - สายเปลือย หมายถึง สายอลูมิเนียม และสายอลูมิเนียมแกนเหล็ก
- สาย PIC หมายถึง สายหุ้มฉนวนบางส่วน (Partially Insulated Cable)
- สาย SAC หมายถึง สายหุ้มฉนวน (Spaced Aerial Cable)

ตารางที่ 3 ระยะทางความหนาแน่นของต้นไม้ของแต่ละสายป้อน

สายป้อน	ความยาวสายป้อน (กม.)	ระยะทาง (กม.) ความหนาแน่นต้นไม้ ที่โล่ (<10 ต้น/กม.)	ต้นไม้เบาบาง (11-40 ต้น/กม.)	ต้นไม้ปานกลาง (41-80 ต้น/กม.)	ต้นไม้หนาทึบ (>80 ต้น/กม.)
BGR02	3.00	3.00	0.00	0.00	0.00
BGR03	89.80	4.85	7.25	4.85	72.85
BGR04	10.27	2.30	0.00	7.97	0.00
BGR05	49.40	8.00	0.00	30.00	11.40
BGR07	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00
BGR08	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00
BGR09	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00
BGR10	0.60	0.60	0.00	0.00	0.00
BSM01	3.50	0.00	3.50	0.00	0.00
BSM02	7.90	2.15	2.35	1.40	2.00
BSM03	5.60	0.00	5.60	0.00	0.00
BSM05	7.70	1.00	0.00	5.12	1.58
BSM06	5.65	1.30	3.30	0.60	0.45
BSM07	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00
BSM08	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00
BSM10	2.10	2.10	0.00	0.00	0.00
BSM11	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00
BSM12	3.00	0.00	1.95	0.00	1.05
BSM13	5.45	2.00	0.87	0.87	1.71
BSM14	6.95	6.95	0.00	0.00	0.00
BSK01	4.50	4.50	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สายป้อน	ความยาวสายป้อน (กม.)	ระยะทาง (กม.) ความหนาแน่นต้นไม้ ที่โล่ง (<10 ต้น/กม.)	ต้นไม้เบาบาง (11-40 ต้น/กม.)	ต้นไม้ปานกลาง (41-80 ต้น/กม.)	ต้นไม้หนาทึบ (>80 ต้น/กม.)
BSK03	4.50	4.50	0.00	0.00	0.00
BSK05	29.20	0.00	8.80	8.80	11.60
BSK07	16.00	1.77	3.53	5.40	5.30
BSK08	3.90	3.90	0.00	0.00	0.00
BSK09	3.10	3.10	0.00	0.00	0.00
BSK10	7.40	3.98	0.00	0.00	3.42
BWA01	35.00	0.00	0.00	23.73	11.27
BWA02	77.55	12.30	15.45	12.30	37.50
BWA03	30.30	0.00	30.30	0.00	0.00
BWA04	37.40	19.00	18.40	0.00	0.00
BWA05	12.50	12.50	0.00	0.00	0.00
BWA06	51.60	0.00	11.90	39.70	0.00
BWA07	62.50	10.00	16.00	23.10	13.40
BWA08	40.94	0.00	40.94	0.00	0.00
BWA09	22.50	6.70	4.10	0.00	11.70
BWA10	74.70	21.00	23.35	21.00	9.35

ตารางที่ 4 จำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุต่างๆ ในปี พ.ศ. 2549 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง

สายป้อน	จำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุต่างๆในปี พ.ศ.2549 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)			
	ต้นไม้	สัตว์ (งู)	อุปกรณ์	รวม
BGR02	0	0	0	0
BGR03	2	10	4	16
BGR04	0	0	2	2
BGR05	0	2	2	4

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สายป้อน	จำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุต่างๆในปี พ.ศ.2549 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)			
	ต้นไม้	สัตว์ (งู)	อุปกรณ์	รวม
BGR07	0	0	2	2
BGR08	0	0	0	0
BGR09	0	0	1	1
BGR10	0	0	0	0
BSM01	0	0	0	0
BSM02	0	0	0	0
BSM03	0	0	1	1
BSM05	0	0	1	1
BSM06	0	0	0	0
BSM07	0	0	0	0
BSM08	0	0	0	0
BSM10	0	0	0	0
BSM11	0	0	2	2
BSM12	0	0	0	0
BSM13	0	0	0	0
BSM14	0	1	0	1
BSK01	0	0	1	1
BSK03	0	0	0	0
BSK05	2	5	1	8
BSK07	2	1	1	4
BSK08	0	0	0	0
BSK09	0	0	1	1
BSK10	0	0	0	0
BWA01	0	1	0	1
BWA02	2	29	0	31
BWA03	0	0	0	0
BWA04	0	2	0	2
BWA05	0	1	0	1

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สายป้อน	จำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุต่างๆในปี พ.ศ.2549 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)			
	ต้นไม้	สัตว์ (งู)	อุปกรณ์	รวม
BWA06	1	4	0	5
BWA07	2	8	2	12
BWA08	0	2	0	2
BWA09	0	0	0	0
BWA10	1	11	2	14
รวม	12	77	23	112

ตารางที่ 5 งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตัวอย่าง (บาท/ปี)			
	ต้นไม้	สัตว์ (งู)	อุปกรณ์	รวม
BGR02	248.787	2,744.787	10,876.706	13,870.280
BGR03	56,703.024	83,479.025	90,668.923	230,850.972
BGR04	2,610.681	11,555.681	150,792.548	164,958.910
BGR05	27,529.693	17,056.693	275,887.264	320,473.650
BGR07	41.465	89.465	2,607.344	2,738.274
BGR08	41.465	89.465	2,501.464	2,632.394
BGR09	41.465	281.465	2,048.464	2,371.394
BGR10	49.758	289.758	2,509.756	2,849.272
BSM01	2,351.252	1,346.252	11,218.251	14,915.755
BSM02	6,098.139	8,335.139	4,692.189	19,125.467
BSM03	9,926.202	2,816.402	132,811.603	145,554.207
BSM05	1,168.553	2,990.553	3,743.414	7,902.520
BSM06	4,670.349	6,564.549	14,559.559	25,794.457
BSM07	165.858	2,469.858	3,067.858	5,703.574
BSM08	41.465	89.465	1,559.464	1,690.394
BSM10	2,738.151	654.151	3,270.151	6,662.453

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตัวอย่าง (บาท/ปี)			
	ต้นไม้	สัตว์ (งู)	อุปกรณ์	รวม
BSM11	414.645	3,966.645	5,933.484	10,314.774
BSM12	3,819.187	2,024.787	39,301.677	45,145.651
BSM13	3,947.963	6,403.963	6,041.963	16,393.889
BSM14	5,396.357	8,256.357	21,828.145	35,480.859
BSK01	373.181	3,157.181	7,723.746	11,254.108
BSK03	373.181	4,933.181	189,367.159	194,673.521
BSK05	34,621.527	42,741.527	85,943.278	163,306.332
BSK07	23,010.864	22,926.864	53,102.054	99,039.782
BSK08	323.423	2,723.423	4,575.503	7,622.349
BSK09	257.080	3,233.080	5,706.839	9,196.999
BSK10	613.675	7,909.675	65,174.102	73,697.452
BWA01	7,922.515	17,542.198	162,798.587	188,263.300
BWA02	45,857.144	44,831.144	51,855.006	142,543.294
BWA03	4,312.749	5,776.749	37,110.832	47,200.330
BWA04	11,591.545	41,501.545	82,225.665	135,318.755
BWA05	1,036.613	8,092.613	53,152.214	62,281.440
BWA06	17,760.136	42,679.136	289,930.028	350,369.300
BWA07	63,639.263	56,783.063	82,033.874	202,456.200
BWA08	11,503.113	18,995.113	24,029.954	54,528.180
BWA09	4,409.903	16,265.903	13,711.804	34,387.610
BWA10	44,727.796	49,634.796	80,412.310	174,774.902
รวม	400,338.167	551,231.651	2,074,773.182	3,026,343.000

จากข้อมูลในตารางที่ 1 – 5 เมื่อนำมาสร้างกราฟหาความสัมพันธ์ได้เส้นแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ตามสมการที่ 9

$$\lambda_{i,PM} = a_i e^{-b_i M_i} \tag{9}$$

โดยที่ $\lambda_{i,PM}$ อัตราการล้มเหลวของสายป้อน i ซึ่งเกิดจากสาเหตุที่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน (ครั้ง/ปี)

M_i งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันของสายป้อน i (บาท/ปี)

a_i, b_i พารามิเตอร์ของสายป้อน i

การเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องบางครั้งเกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน เช่น ไฟฟ้าขัดข้องจากภัยธรรมชาติ ไฟฟ้าขัดข้องจากบุคคลภายนอก ไฟฟ้าขัดข้องจากวัสดุแปลกปลอม เป็นต้น โดยให้ $\lambda_{i,notPM}$ คือ อัตราการล้มเหลวของสายป้อน i ซึ่งเกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกันปี พ.ศ. 2546 – 2549 โดยพิจารณาเป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นกับงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน แสดงในตารางที่ 6 และอัตราการล้มเหลวรวมของสายป้อน i (λ_i) ได้จากผลรวมของ $\lambda_{i,PM}$ และ $\lambda_{i,notPM}$ แสดงในภาพที่ 12

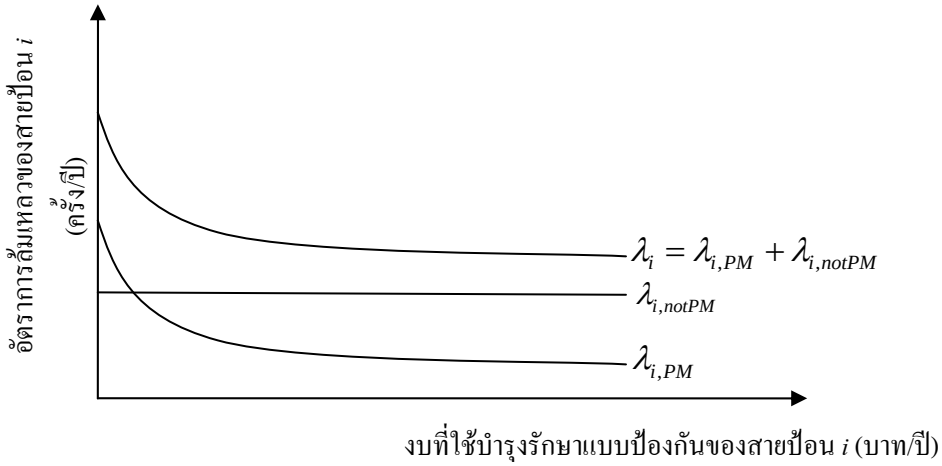
ตารางที่ 6 จำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

สายป้อน	จำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน (ครั้ง/ปี)				
	2546	2547	2548	2549	$\lambda_{i,notPM}$
BGR02	4	0	0	0	1.00
BGR03	24	18	15	17	18.50
BGR04	0	1	0	2	0.75
BGR05	1	1	0	8	2.50
BGR07	2	1	4	1	2.00
BGR08	1	0	1	0	0.50
BGR09	0	0	0	0	0.00
BGR10	1	1	2	0	1.00
BSM01	0	0	0	0	0.00
BSM02	1	1	1	0	0.75
BSM03	0	0	0	0	0.00
BSM05	1	0	0	0	0.25

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สายป้อน	จำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่ไม่สามารถป้องกันได้ด้วยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน (ครั้ง/ปี)				
	2546	2547	2548	2549	$\lambda_{i,notPM}$
BSM06	1	2	0	0	0.75
BSM07	0	1	0	1	0.50
BSM08	8	5	0	0	3.25
BSM10	1	2	1	0	1.00
BSM11	0	0	1	0	0.25
BSM12	0	1	1	0	0.50
BSM13	0	0	0	0	0.00
BSM14	2	0	2	0	1.00
BSK01	*	*	*	1	1.00
BSK03	*	*	*	0	0.00
BSK05	*	*	*	4	4.00
BSK07	*	*	*	4	4.00
BSK08	*	*	*	0	0.00
BSK09	*	*	*	0	0.00
BSK10	*	*	*	0	0.00
BWA01	2	6	2	1	2.75
BWA02	6	12	16	26	15.00
BWA03	1	1	1	3	1.50
BWA04	3	6	8	5	5.50
BWA05	1	4	0	4	2.25
BWA06	0	2	0	5	1.75
BWA07	8	10	6	19	10.75
BWA08	1	3	3	0	1.75
BWA09	1	1	2	1	1.25
BWA10	1	14	24	15	13.50

หมายเหตุ - * เป็นสายป้อนที่ยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟในปีนั้น



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันของสายป้อน *i*

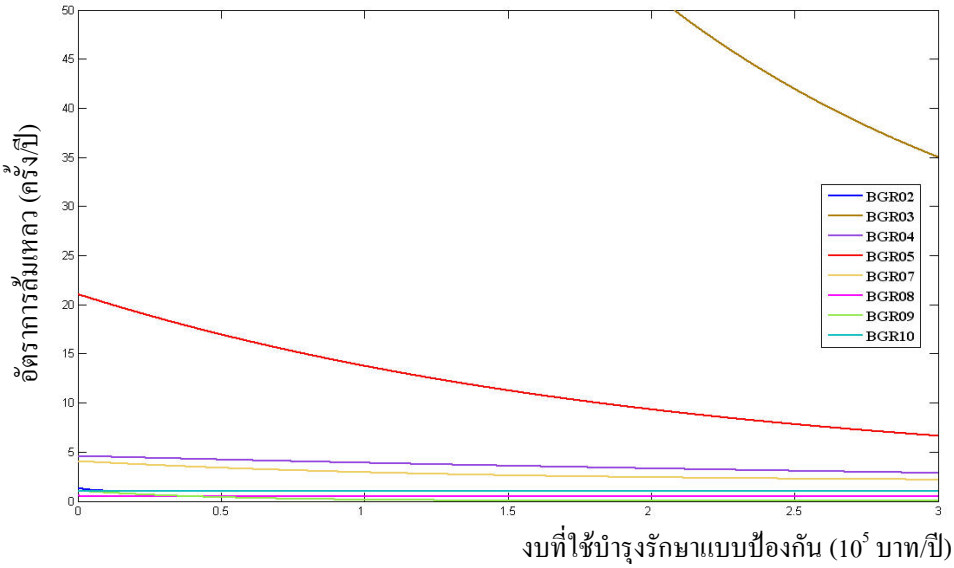
ตารางที่ 7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล (a_i และ b_i) จากสมการที่ 9 ของทุกสายป้อนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกง และค่า $\lambda_{i,notPM}$ แสดงไว้ในคอลัมน์สุดท้าย โดยภาพที่ 13 – 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวรวมกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละสายป้อนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกงจากสมการที่ 9

ตารางที่ 7 พารามิเตอร์อัตราการล้มเหลวของแต่ละสายป้อน

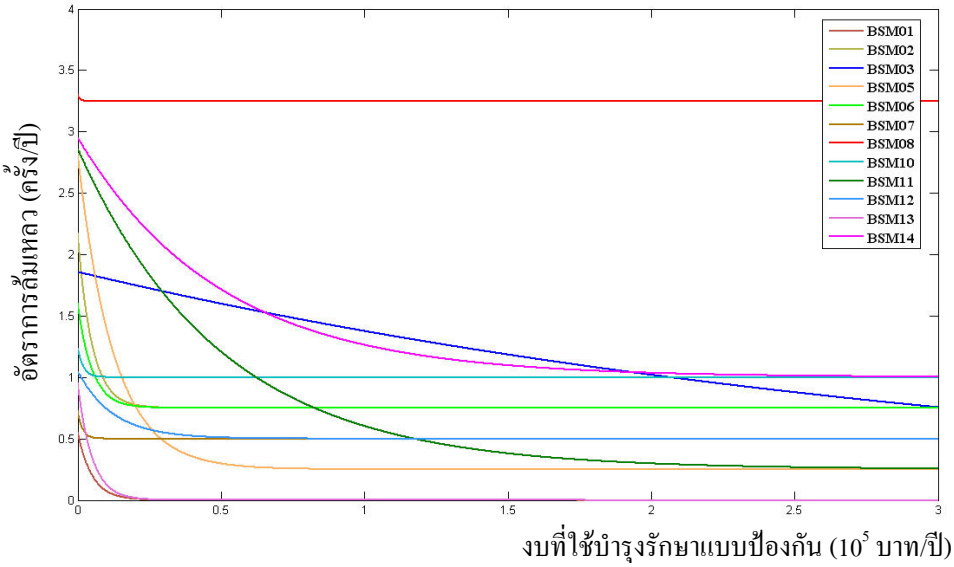
สายป้อน	$\lambda_{i,PM}$		$\lambda_{i,notPM}$
	a_i	b_i	
BGR02	0.345	0.000200	1.00
BGR03	135.070	0.000007	18.50
BGR04	3.838	0.000002	0.75
BGR05	18.567	0.000005	2.50
BGR07	2.063	0.000008	2.00
BGR08	0.057	0.000900	0.50
BGR09	1.061	0.000020	0.00
BGR10	0.069	0.000900	1.00
BSM01	0.555	0.000200	0.00
BSM02	1.425	0.000200	0.75
BSM03	1.858	0.000003	0.00

ตารางที่ 7 (ต่อ)

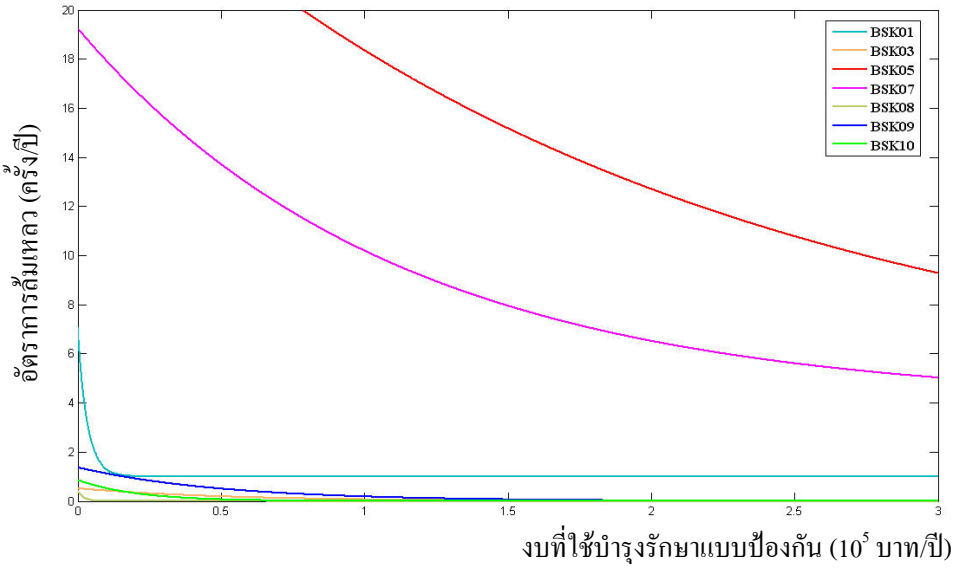
สายป้อน	$\lambda_{i,PM}$		$\lambda_{i,notPM}$
	a_i	b_i	
BSM05	2.572	0.000080	0.25
BSM06	0.855	0.000200	0.75
BSM07	0.229	0.000600	0.50
BSM08	0.057	0.001400	3.25
BSM10	0.241	0.000500	1.00
BSM11	2.611	0.000020	0.25
BSM12	0.549	0.000080	0.50
BSM13	0.956	0.000200	0.00
BSM14	1.951	0.000020	1.00
BSK01	6.084	0.000300	1.00
BSK03	0.517	0.000020	0.00
BSK05	23.680	0.000005	4.00
BSK07	15.256	0.000009	4.00
BSK08	0.445	0.000500	0.00
BSK09	1.371	0.000020	0.00
BSK10	0.862	0.000050	0.00
BWA01	33.819	0.000030	2.75
BWA02	119.610	0.000007	15.00
BWA03	4.385	0.000100	1.50
BWA04	9.479	0.000010	5.50
BWA05	2.859	0.000010	2.25
BWA06	16.990	0.000003	1.75
BWA07	25.557	0.000003	10.75
BWA08	11.742	0.000030	1.75
BWA09	6.632	0.000100	1.25
BWA10	32.927	0.000004	13.50



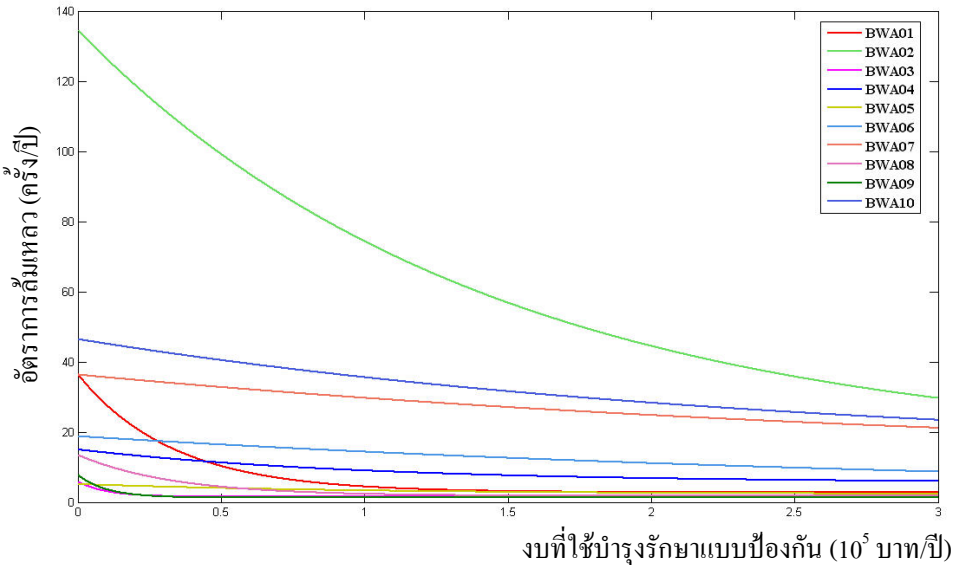
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางปะกง 3



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางสมัคร 1



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางสมัคร 2



ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการล้มเหลวกับงบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในแต่ละสายป้อนของสถานีไฟฟ้าบางวัว

3. มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง

มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้งของอัตราการล้มเหลวของแต่ละสายป้อน (CCI_i) คำนวณมาจากข้อมูลการสำรวจมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (สถาบันวิจัยพลังงาน, 2544) แสดงในตารางที่ 8 ร่วมกับข้อมูลโหลดของผู้ใช้ไฟในแต่ละสายป้อน แสดงในตารางที่ 9 และมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อนที่ได้จากการคำนวณแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 8 มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ชนิดผู้ใช้ไฟ	มูลค่าความเสียหาย (บาท/กิโลวัตต์สูงสุด)						
	0 - 2 วินาที	2 วินาที - 1 นาที	1 - 30 นาที	30 นาที - 1 ชั่วโมง	1 - 2 ชั่วโมง	2 - 4 ชั่วโมง	4 - 8 ชั่วโมง
บ้านอยู่อาศัย	0.000	0.272	4.078	8.694	19.050	39.762	80.716
กิจการขนาดเล็ก	38.287	46.740	96.447	166.172	288.467	591.748	1,054.216
กิจการขนาดกลาง	3.287	7.855	29.482	55.006	92.647	193.661	363.221
กิจการขนาดใหญ่	6.661	10.824	34.311	50.877	79.913	145.614	251.938
กิจการเฉพาะอย่าง	0.000	0.000	0.529	1.890	4.044	8.248	15.904
ส่วนราชการ	0.277	6.104	11.219	20.025	28.827	40.175	50.941

ที่มา: สถาบันวิจัยพลังงาน (2544)

ตารางที่ 9 ข้อมูลโหลดของผู้ใช้ไฟในแต่ละสายป้อน

สายป้อน	โหลดของผู้ใช้ไฟ (กิโลวัตต์สูงสุด)					
	บ้านอยู่อาศัย	กิจการขนาดเล็ก	กิจการขนาดกลาง	กิจการขนาดใหญ่	กิจการเฉพาะอย่าง	ส่วนราชการ
BGR02	0.00	0.00	458.00	3,828.00	0.00	0.00
BGR03	745.80	14.64	787.18	0.00	0.00	661.31
BGR04	0.00	8.00	927.56	4,504.00	0.00	1,860.00
BGR05	810.30	112.46	4,584.06	2,094.00	92.00	66.10
BGR07	0.00	0.00	0.00	10,200.00	0.00	0.00

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สายป้อน	โหลดของผู้ใช้ไฟ (กิโลวัตต์สูงสุด)					
	บ้านอยู่อาศัย	กิจการขนาดเล็ก	กิจการขนาดกลาง	กิจการขนาดใหญ่	กิจการเฉพาะอย่าง	ส่วนราชการ
BGR08	0.00	0.00	0.00	7,000.00	0.00	0.00
BGR09	0.00	0.00	0.00	10,500.00	0.00	0.00
BGR10	0.00	0.00	0.00	4,800.00	0.00	0.00
BSM01	0.00	0.00	1,276.00	9,258.00	0.00	0.00
BSM02	0.00	9.60	3,009.35	6,086.00	0.00	0.00
BSM03	0.00	0.00	1,172.00	5,554.00	0.00	0.00
BSM05	0.00	0.00	2,886.85	7,289.00	0.00	0.00
BSM06	0.00	0.00	1,279.00	6,805.00	0.00	0.00
BSM07	0.00	0.00	930.00	550.00	0.00	0.00
BSM08	0.00	0.00	0.00	6,400.00	0.00	0.00
BSM10	0.00	23.46	40.80	7,760.00	0.00	0.00
BSM11	0.00	0.00	2,869.54	9,883.60	0.00	0.00
BSM12	0.00	0.00	936.80	5,628.00	0.00	0.00
BSM13	0.00	0.00	2,207.60	5,232.00	0.00	0.00
BSM14	0.00	0.00	2,340.39	8,835.00	0.00	0.00
BSK01	36.30	0.00	0.00	1,477.76	0.00	0.00
BSK03	0.00	25.56	344.00	5,226.00	0.00	0.00
BSK05	90.90	380.60	4,070.34	1,406.00	0.00	9.79
BSK07	201.60	51.97	1,789.00	1,578.00	0.00	155.49
BSK08	0.00	7.50	80.00	3,765.60	0.00	0.00
BSK09	5.10	0.00	269.89	3,912.00	0.00	0.00
BSK10	18.60	42.55	1,600.92	2,092.00	0.00	0.00
BWA01	412.80	56.46	1,792.04	4,304.00	38.95	0.00
BWA02	883.20	51.48	3,941.56	1,737.60	38.53	109.88
BWA03	122.70	9.03	2,968.51	402.00	0.00	0.00
BWA04	560.10	122.70	5,504.70	3,363.60	90.49	485.96
BWA05	251.70	2.40	392.64	1,066.00	114.00	72.83
BWA06	1,110.30	134.13	2,523.88	2,575.20	135.46	0.00

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สายป้อน	โหลดของผู้ใช้ไฟ (กิโลวัตต์สูงสุด)					
	บ้านอยู่อาศัย	กิจการขนาดเล็ก	กิจการขนาดกลาง	กิจการขนาดใหญ่	กิจการเฉพาะอย่าง	ส่วนราชการ
BWA07	195.00	12.28	2,219.23	4,908.00	71.35	0.00
BWA08	553.80	122.91	1,446.67	4,045.00	49.53	39.83
BWA09	396.60	55.57	1,309.18	2,608.00	141.07	0.00
BWA10	939.00	82.35	1,534.67	1,356.00	0.00	343.89

ตารางที่ 10 มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อน

สายป้อน	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) (บาท/ครั้ง) (ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบทั้งสายป้อน)	% ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) (บาท/ครั้ง) (คิดเปอร์เซ็นต์ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 (OCF_i) (บาท/ปี)
BGR02	268,502.472	100.000	268,502.472	1.022	274,409.526
BGR03	81,924.760	19.854	16,265.447	45.338	737,442.826
BGR04	386,020.058	100.000	386,020.058	3.509	1,354,544.382
BGR05	483,553.493	51.453	248,801.381	6.240	1,552,520.615
BGR07	630,778.200	100.000	630,778.200	4.018	2,534,466.808
BGR08	432,887.000	100.000	432,887.000	0.505	218,607.935
BGR09	649,330.500	100.000	649,330.500	1.012	657,122.466
BGR10	296,836.800	100.000	296,836.800	1.001	297,133.637
BSM01	661,050.306	100.000	661,050.306	0.028	18,509.409
BSM02	587,199.030	100.000	587,199.030	0.781	458,602.442
BSM03	424,775.930	100.000	424,775.930	1.201	510,155.892
BSM05	651,042.928	100.000	651,042.928	1.617	1,052,736.415

ตารางที่ 10 (ต่อ)

สายป้อน	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) (บาท/ครั้ง) (ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบทั้งสายป้อน)	% ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) (บาท/ครั้ง) (คิดเปอร์เซ็นต์ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 (OCF_i) (บาท/ปี)
BSM06	509,562.467	100.000	509,562.467	0.755	384,719.663
BSM07	98,534.090	100.000	98,534.090	0.507	49,956.784
BSM08	395,782.400	100.000	39,5782.400	3.255	1,288,271.712
BSM10	487,731.404	100.000	487,731.404	1.009	492,120.987
BSM11	810,294.654	100.000	810,294.654	2.374	1,923,639.508
BSM12	413,034.458	100.000	413,034.458	0.515	212,712.746
BSM13	476,710.985	100.000	476,710.985	0.036	17,161.595
BSM14	708,736.812	100.000	708,736.812	1.960	1,389,124.152
BSK01	91,846.295	100.000	91,846.295	1.208	110,950.324
BSK03	352,510.599	100.000	352,510.599	0.011	3,877.617
BSK05	452,064.797	17.429	78,789.071	14.466	1,139,762.702
BSK07	238,829.586	37.518	89,604.236	10.256	918,981.045
BSK08	240,021.850	100.000	240,021.850	0.010	2,400.218
BSK09	260,711.068	100.000	260,711.068	1.141	297,471.329
BSK10	249,770.921	100.000	249,770.921	0.022	5,494.960
BWA01	407,895.968	100.000	407,895.968	2.869	1,170,253.531
BWA02	405,661.065	11.213	45,488.304	59.099	2,688,313.271
BWA03	234,294.895	69.740	163,397.149	1.539	251,468.212
BWA04	634,303.400	55.421	351,539.935	7.950	2,794,742.481
BWA05	98,790.352	60.469	59,738.015	3.784	226,048.651
BWA06	377,457.836	8.664	32,702.210	7.689	251,447.289
BWA07	462,766.854	23.787	110,077.116	24.673	2,715,932.684
BWA08	384,824.294	7.917	30,466.961	4.037	122,995.120

ตารางที่ 10 (ต่อ)

สายป้อน	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) (บาท/ครั้ง) (ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบทั้งสายป้อน)	% ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) (บาท/ครั้ง) (คิดเปอร์เซ็นต์ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 (OCF_i) (บาท/ปี)
BWA09	269,388.390	40.974	110,378.614	1.463	161,483.912
BWA10	227,493.091	8.603	19,571.678	29.866	584,527.745
รวม	14,842,920.008		11,848,387.312	246.766	28,870,110.591

ในตารางที่ 10 คอลัมน์ที่ 2 เป็นมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่กระทบต่อผู้ใช้ไฟทั้งสายป้อน แต่ในความเป็นจริงเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งจะมีจำนวนน้อยกว่าผู้ใช้ไฟทั้งหมดของสายป้อนนั้นๆ เนื่องมาจากในสายป้อนมีอุปกรณ์ป้องกันอยู่หลายจุดทำให้ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบมีจำนวนไม่เท่ากับผู้ใช้ไฟทั้งหมดของสายป้อนนั้นๆ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้คำนวณเปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง แสดงในคอลัมน์ที่ 3 ของตารางที่ 10 เมื่อนำคอลัมน์ที่ 2 คูณกับคอลัมน์ที่ 3 จะได้เป็นมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้ง (CCI_i) ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ แสดงในคอลัมน์ที่ 4 ของตารางที่ 10 ส่วนอัตราการล้มเหลวของแต่ละสายป้อนในคอลัมน์ที่ 5 นั้นได้จากการแทนค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละสายป้อน (คอลัมน์สุดท้ายในตารางที่ 5) ลงในสมการที่ 9 โดยมีค่าพารามิเตอร์ของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียลตามตารางที่ 7 เมื่อนำมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อครั้งคูณกับอัตราการล้มเหลวของแต่ละสายป้อน จะได้เป็นมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่อปีของแต่ละสายป้อน (OCF_i) แสดงในคอลัมน์สุดท้ายของตารางที่ 10 ซึ่งจากการคำนวณของปี พ.ศ. 2549 จะเห็นว่าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างใช้งบบำรุงรักษาแบบป้องกันรวม 3,026,343 บาท/ปี แต่มีมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมสูงถึง 28,870,110.591 บาท/ปี ซึ่งอาจสร้างความไม่พอใจให้กับผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบได้

4. ฟังก์ชั่นจุดประสงค์

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ในการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนั้น แบ่งออกเป็น 4 ฟังก์ชั่น คือ

4.1 ต้องการให้เกิดมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวม (*TOC*) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (*M*) ที่เหมาะสม ดังสมการที่ 10

4.2 ต้องการให้อัตราการล้มเหลวรวม (λ_{total}) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (*M*) ที่เหมาะสม ดังสมการที่ 11

4.3 ต้องการให้ค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (*SAIFI*) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (*M*) ที่เหมาะสม ดังสมการที่ 12

4.4 ต้องการให้ค่าดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (*SAIDI*) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (*M*) ที่เหมาะสม ดังสมการที่ 13

โดยมีเงื่อนไขคือ งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละสายป้อนรวมต้องเท่ากับงบบำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง ดังสมการที่ 14

$$4.1\ \underset{M_i}{Minimize}\ TOC = \sum_{i=1}^{n} OCF_i = \sum_{i=1}^{n} CCI_i \times \lambda_i = \sum_{i=1}^{n} CCI_i \times \left(a_i e^{-b_i M_i} + \lambda_{i,notPM}\right) \quad (10)$$

$$4.2\ \underset{M_i}{Minimize}\ \lambda_{total} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = \sum_{i=1}^{n} \left(a_i e^{-b_i M_i} + \lambda_{i,notPM}\right) \quad (11)$$

$$4.3\ \underset{M_i}{Minimize}\ SAIFI = \sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i \times N_i}{N_T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(a_i e^{-b_i M_i} + \lambda_{i,notPM}\right) \times N_i}{N_T} \quad (12)$$

$$4.4\ \underset{M_i}{Minimize}\ SAIDI = \sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i \times r_i \times N_i}{N_T} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(a_i e^{-b_i M_i} + \lambda_{i,notPM}\right) \times r_i \times N_i}{N_T} \quad (13)$$

S*ubject to*

$$\sum_{i=1}^{n} M_i = Budget \quad (14)$$

โดยที่ n จำนวนสายป้อนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง

$Budget$ งบบำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง

จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ตามสมการที่ 10 – 13 นั้น เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) ในการแก้ปัญหา

5. การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุด

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิจัยทั้งสิ้น 2 กรณีศึกษาของทุกฟังก์ชั่นจุดประสงค์ คือ

5.1 กำหนดให้งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และหาค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อน อัตราการล้มเหลว และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม

5.2 กำหนดค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ เพื่อหาจุดอิ่มตัวของการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกัน และหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง อัตราการล้มเหลวรวม และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

โดยทำการคำนวณค่าดัชนีด้านความเชื่อถือได้ 2 ดัชนี คือดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (SAIFI) และดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (SAIDI) ทั้งสองดัชนีสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 และ 4 ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น โดยจากทั้ง 2 สมการ ค่าตัวแปรที่ต้องใช้ในการคำนวณคือ

- อัตราการล้มเหลวของแต่ละสายป้อน (λ_i) ที่เหมาะสม ได้มาจากการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ตามสมการที่ 10 – 13 โดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค
- จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของระบบที่พิจารณา (N_T) ได้มาจากข้อมูลผู้ใช้ไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกงซึ่งเป็นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างโดยมีผู้ใช้ไฟของระบบจำหน่ายในปี พ.ศ. 2549 ทั้งสิ้น 25,075 ราย
- จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อการเกิดอัตราการล้มเหลว 1 ครั้ง (N_i) และค่าเวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละเหตุการณ์ (r_i) คำนวณมาจากสถิติการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง พ.ศ. 2549 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบและเวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้ต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลวของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง

สายป้อน	จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละสายป้อน	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว (N_i)	% ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว	เวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละเหตุการณ์ (r_i)
BGR02	5	5.000	100.000	17.000
BGR03	2,497	495.758	19.854	59.576
BGR04	61	61.000	100.000	19.750
BGR05	2,742	1,410.833	51.453	38.167
BGR07	1	1.000	100.000	26.000
BGR08	2	2.000	100.000	160.750
BGR09	1	1.000	100.000	33.000
BGR10	1	1.000	100.000	31.444
BSM01	8	8.000	100.000	21.500
BSM02	27	27.000	100.000	44.333
BSM03	8	8.000	100.000	7.000
BSM05	18	18.000	100.000	14.000
BSM06	10	10.000	100.000	21.500
BSM07	4	4.000	100.000	44.000
BSM08	1	1.000	100.000	21.500
BSM10	9	9.000	100.000	25.667
BSM11	21	21.000	100.000	25.500
BSM12	9	9.000	100.000	5.000
BSM13	9	9.000	100.000	21.500
BSM14	15	15.000	100.000	13.000
BSK01	124	124.000	100.000	30.500
BSK03	16	16.000	100.000	55.043
BSK05	339	59.083	17.429	47.917
BSK07	692	259.625	37.518	65.000
BSK08	4	4.000	100.000	55.043
BSK09	22	22.000	100.000	110.000
BSK10	80	80.000	100.000	55.043

ตารางที่ 11 (ต่อ)

สายป้อน	จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละสายป้อน	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว (N_i)	% ผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว	เวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละเหตุการณ์ (r_i)
BWA01	1,400	1,400.000	100.000	6.500
BWA02	2,985	334.719	11.213	54.053
BWA03	423	295.000	69.740	48.667
BWA04	1,917	1,062.429	55.421	25.143
BWA05	852	515.200	60.469	71.200
BWA06	3727	322.900	8.664	65.000
BWA07	674	160.323	23.787	60.161
BWA08	1,882	149.000	7.917	60.000
BWA09	1,335	547.000	40.974	100.000
BWA10	3,154	271.345	8.603	58.000

ในปี พ.ศ. 2549 มีบางสายป้อนที่ไม่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบต่อครั้งการเกิดอัตราการล้มเหลว (N_i) และค่าเวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟฟ้าขัดข้องแต่ละเหตุการณ์ (r_i) คำนวณจากข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของสายป้อนนั้นๆในปี พ.ศ. 2546 – พ.ศ. 2548

ผลและวิจารณ์

ผล

กรณีศึกษาทุกกรณีในงานวิจัยการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนี้เป็นการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาคมาแก้ปัญหา โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาคไว้ดังนี้ $c_1 = 1.8$, $c_2 = 1$, $\omega_{min} = 0.4$, $\omega_{max} = 0.7$, $k_{max} = 150$ และ *population = 300* ทุกกรณีศึกษา

1. ผลจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1

จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1 ต้องการให้เกิดมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวม (*TOC*) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (*M*) ที่เหมาะสม

1.1 กรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1

กำหนดให้งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และหาค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อน อัตราการล้มเหลว และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม

ตารางที่ 12 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1 แสดงค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน โดยกำหนดงบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และตารางที่ 13 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ ดัชนี SAIDI ที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1

ตารางที่ 12 ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BGR02	10,901.873	1.039	278,969.967
BGR03	248,069.690	42.291	687,881.236
BGR04	0.000	4.588	1,771,060.026
BGR05	408,639.949	4.907	1,220,751.556
BGR07	157,823.939	2.584	1,629,718.753
BGR08	2,522.783	0.506	219,036.097
BGR09	74,809.605	0.238	154,309.696
BGR10	1,902.111	1.013	300,534.215
BSM01	16,922.738	0.019	12,434.753
BSM02	20,110.343	0.776	455,390.529
BSM03	0.000	1.858	789,233.678
BSM05	44,719.334	0.322	209,552.752
BSM06	16,401.534	0.782	398,618.049
BSM07	0.000	0.729	71,831.352
BSM08	0.000	3.307	1,308,852.397
BSM10	5,973.876	1.012	493,660.481
BSM11	132,170.714	0.436	353,036.626
BSM12	25,243.921	0.573	236,612.273
BSM13	16,742.670	0.034	16,012.650
BSM14	111,335.585	1.211	857,910.992
BSK01	13,975.485	1.092	100,287.569
BSK03	18,256.985	0.359	126,498.263
BSK05	216,604.765	12.017	946,835.237
BSK07	158,463.582	7.665	686,807.371
BSK08	6,056.773	0.022	5,168.914

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BSK09	43,238.106	0.577	150,534.315
BSK10	26,137.478	0.233	58,274.829
BWA01	164,849.712	2.991	1,219,868.492
BWA02	381,608.283	23.273	1,058,642.250
BWA03	32,194.067	1.675	273,740.374
BWA04	239,831.780	6.361	2,236,273.222
BWA05	0.000	5.109	305,201.519
BWA06	0.000	18.740	612,839.415
BWA07	354,689.158	19.568	2,154,036.269
BWA08	40,666.885	5.217	158,933.033
BWA09	35,250.335	1.445	159,532.174
BWA10	228.941	46.397	908,064.414
รวม	3,026,343.000	220.966	22,626,945.738

ตารางที่ 13 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549

ดัชนีด้านความเชื่อถือได้	ค่าดัชนีที่เกิดขึ้นจริงในปี พ.ศ.2549	ค่าดัชนีจากกรณีศึกษาที่ 1
SAIFI (ครั้ง/ราย/ปี)	3.428	3.045
SAIDI (นาที/ราย/ปี)	173.837	157.897

1.2 กรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1

กำหนดค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ เพื่อหาจุดอิ่มตัวของการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกัน และหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง อัตราการล้มเหลวรวม และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

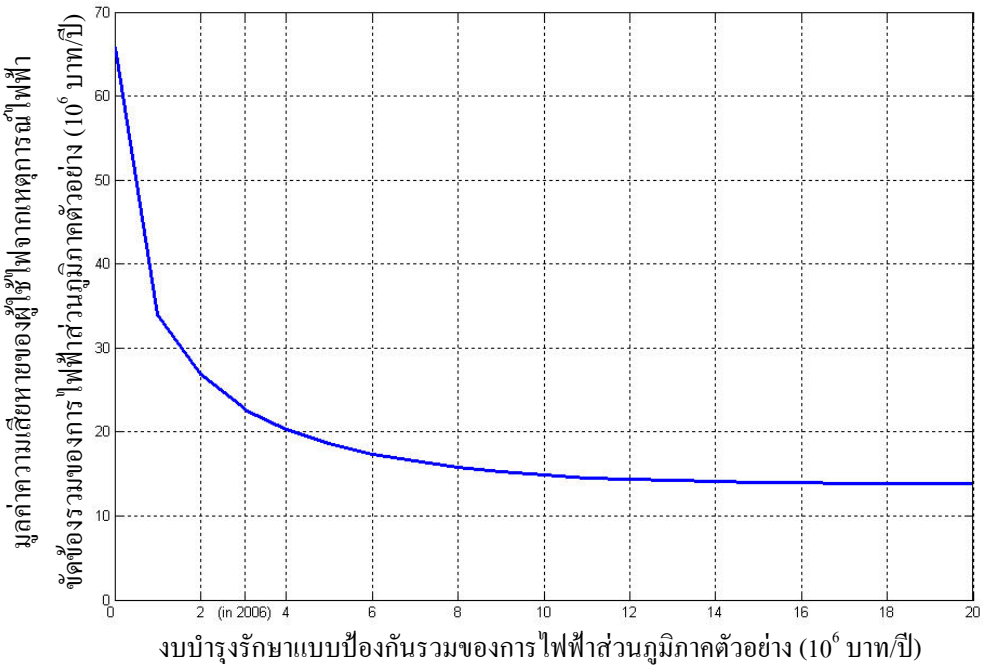
ตารางที่ 14 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1 แสดงค่าอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ และกราฟระหว่างมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ แสดงในภาพที่ 17

ตารางที่ 14 อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1

งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
0	586.648	65,846,738.531	10.424	462.085
1,000,000	366.230	34,027,452.992	5.232	276.372
2,000,000	269.778	26,909,941.113	3.749	196.010
3,000,000	224.248	22,818,949.242	3.109	161.824
3,026,343 (พ.ศ. 2549)	220.966	22,626,945.738	3.045	157.897
4,000,000	194.465	20,255,901.193	2.721	140.525
5,000,000	171.590	18,633,941.344	2.421	123.819
6,000,000	156.613	17,363,593.610	2.229	113.019
7,000,000	141.291	16,554,641.042	2.042	102.313
8,000,000	129.005	15,728,296.541	1.879	92.295
9,000,000	121.012	15,233,300.402	1.769	85.680

ตารางที่ 14 (ต่อ)

งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
10,000,000	115.428	14,932,842.244	1.699	81.768
11,000,000	110.925	14,534,178.407	1.641	78.409
12,000,000	108.382	14,436,250.467	1.603	76.201
13,000,000	105.950	14,186,885.919	1.577	74.751
14,000,000	104.548	14,102,500.443	1.560	73.711
15,000,000	102.953	13,990,298.012	1.538	72.424
16,000,000	101.978	13,930,174.492	1.526	71.720
17,000,000	101.297	13,887,027.762	1.516	71.189
18,000,000	100.911	13,856,038.017	1.511	70.925
19,000,000	100.514	13,829,856.961	1.506	70.590
20,000,000	100.287	13,812,685.344	1.503	70.432



ภาพที่ 17 กราฟมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

2. ผลจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2

จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2 ต้องการให้อัตราการล้มเหลวรวม (λ_{total}) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (M) ที่เหมาะสม

2.1 กรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2

กำหนดให้งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และหาค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อน อัตราการล้มเหลว และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม

ตารางที่ 15 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2 แสดงค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการ

ล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน โดยกำหนดงบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และตารางที่ 16 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ ดัชนี SAIDI ที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2

ตารางที่ 15 ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BGR02	4,325.072	1.145	307,505.331
BGR03	495,811.978	22.700	369,227.340
BGR04	0.000	4.588	1,771,060.026
BGR05	230,985.554	8.350	2,077,515.374
BGR07	0.000	4.063	2,562,851.827
BGR08	0.000	0.558	241,550.946
BGR09	396.090	1.053	683,503.586
BGR10	0.000	1.069	317,318.539
BSM01	6,607.885	0.148	97,852.951
BSM02	11,375.050	0.897	526,414.616
BSM03	0.000	1.858	789,233.678
BSM05	24,196.853	0.621	404,415.741
BSM06	0.000	1.608	819,376.447
BSM07	0.000	0.729	71,831.352
BSM08	678.841	3.272	1,295,014.227
BSM10	0.000	1.241	605,274.672
BSM11	28,581.143	1.724	1,397,104.012
BSM12	0.000	1.049	433,273.146
BSM13	9,397.722	0.146	69,572.443
BSM14	0.000	2.951	2,091,482.332
BSK01	13,756.492	1.098	100,860.767

ตารางที่ 15 (ต่อ)

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BSK03	0.000	0.517	182,247.980
BSK05	279,640.569	9.850	776,066.036
BSK07	171,372.479	7.263	650,787.829
BSK08	4,132.935	0.056	13,525.566
BSK09	0.000	1.371	357,434.874
BSK10	7,660.144	0.588	146,794.988
BWA01	118,051.636	3.730	1,521,322.628
BWA02	480,562.299	19.138	870,571.685
BWA03	26,931.509	1.797	293,579.174
BWA04	117,472.734	8.428	2,962,811.395
BWA05	0.000	5.109	305,201.519
BWA06	183,558.007	11.546	377,572.277
BWA07	320,904.358	20.509	2,257,580.426
BWA08	83,294.429	2.715	82,716.813
BWA09	31,085.595	1.546	170,669.615
BWA10	375,563.626	20.831	407,687.086
รวม	3,026,343.000	175.862	28,408,809.244

ตารางที่ 16 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549

ดัชนีด้านความเชื่อถือได้	ค่าดัชนีที่เกิดขึ้นจริงในปี พ.ศ.2549	ค่าดัชนีจากกรณีศึกษาที่ 1
SAIFI (ครั้ง/ราย/ปี)	3.428	2.547
SAIDI (นาที/ราย/ปี)	173.837	119.090

2.2 กรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2

กำหนดค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ เพื่อหาจุดอิ่มตัวของการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกัน และหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง อัตราการล้มเหลวรวม และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

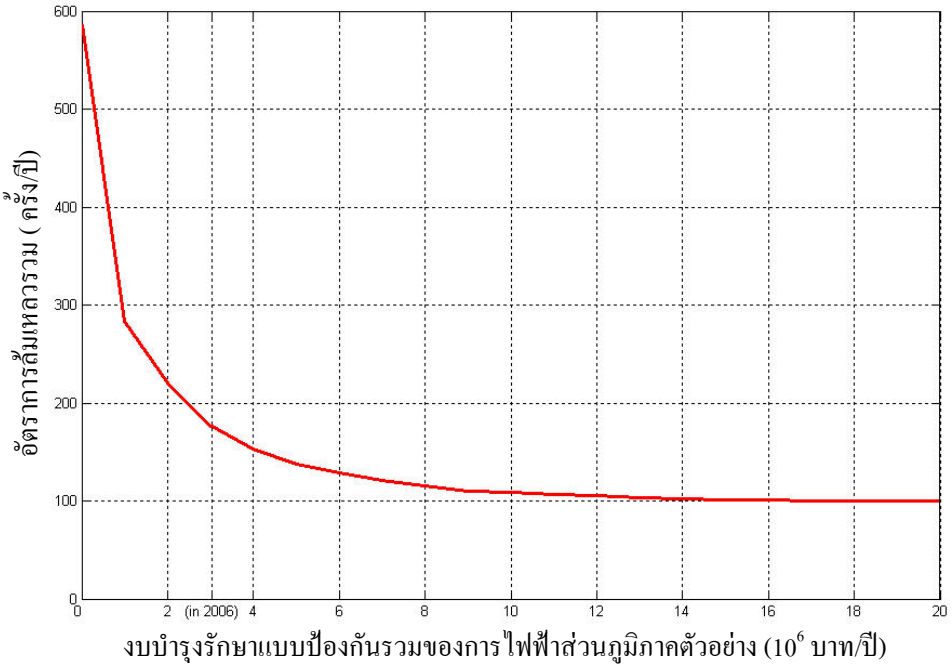
ตารางที่ 17 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2 แสดงค่าอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ และกราฟระหว่างอัตราการล้มเหลวรวมที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ แสดงในภาพที่ 18

ตารางที่ 17 อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2

งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
0	586.648	65,846,738.531	10.424	462.085
1,000,000	282.989	42,056,032.017	4.477	202.863
2,000,000	220.201	36,243,992.472	3.365	152.272
3,000,000	176.705	28,791,117.696	2.563	119.847
3,026,343 (พ.ศ. 2549)	175.862	28,408,809.244	2.547	119.090
4,000,000	152.585	25,279,344.859	2.167	101.293
5,000,000	137.084	22,633,061.130	1.934	90.426
6,000,000	128.320	22,053,865.676	1.772	82.669
7,000,000	120.456	18,959,644.355	1.708	79.817
8,000,000	115.046	18,136,633.640	1.643	76.740
9,000,000	110.248	16,311,915.306	1.608	75.192
10,000,000	108.293	16,152,998.060	1.582	73.862

ตารางที่ 17 (ต่อ)

งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
11,000,000	106.093	15,748,156.887	1.553	72.620
12,000,000	105.178	15,191,186.477	1.539	72.018
13,000,000	103.749	15,072,955.727	1.522	71.194
14,000,000	101.858	14,315,988.525	1.518	71.033
15,000,000	101.335	14,219,529.450	1.514	70.780
16,000,000	100.900	14,086,647.738	1.508	70.508
17,000,000	100.448	13,982,148.804	1.504	70.335
18,000,000	100.187	13,923,197.028	1.500	70.170
19,000,000	100.008	13,882,319.774	1.498	70.086
20,000,000	99.931	13,858,618.604	1.497	70.039



ภาพที่ 18 กราฟอัตราการล้มเหลวรวมที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

3. ผลจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3

จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3 ต้องการให้ค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (*SAIFI*) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (*M*) ที่เหมาะสม

3.1 กรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3

กำหนดให้งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และหาค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อน อัตราการล้มเหลว และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม

ตารางที่ 18 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3 แสดงค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน โดยกำหนดงบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และตารางที่ 19 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ ดัชนี SAIDI ที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3

ตารางที่ 18 ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BGR02	0.000	1.345	361,135.825
BGR03	588,073.186	20.702	336,724.233
BGR04	0.000	4.588	1,771,060.026
BGR05	568,296.076	3.583	891,501.284

ตารางที่ 18 (ต่อ)

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BGR07	0.000	4.063	2,562,851.827
BGR08	0.000	0.558	241,550.946
BGR09	0.000	1.061	688,939.661
BGR10	0.000	1.069	317,318.539
BSM01	0.000	0.555	366,882.920
BSM02	0.000	2.175	1,277,157.890
BSM03	0.000	1.858	789,233.678
BSM05	0.000	2.822	1,837,243.143
BSM06	0.000	1.608	819,376.447
BSM07	0.000	0.729	71,831.352
BSM08	0.000	3.307	1,308,852.397
BSM10	0.000	1.241	605,274.672
BSM11	0.000	2.861	2,318,253.005
BSM12	0.000	1.049	433,273.146
BSM13	0.000	0.956	455,735.702
BSM14	0.000	2.951	2,091,482.332
BSK01	11,294.825	1.205	110,711.728
BSK03	0.000	0.517	182,247.980
BSK05	0.000	27.680	2,180,881.485
BSK07	171,128.538	7.270	651,430.426
BSK08	0.000	0.445	106,809.723
BSK09	0.000	1.371	357,434.874
BSK10	0.000	0.862	215,302.534
BWA01	174,172.290	2.932	1,195,921.487
BWA02	514,594.144	18.261	830,668.379
BWA03	28,290.562	1.759	287,418.153
BWA04	257,869.799	6.219	2,186,296.313
BWA05	65,633.318	3.733	223,008.360

ตารางที่ 18 (ต่อ)

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BWA06	0.000	18.740	612,839.415
BWA07	158,478.360	26.637	2,932,080.430
BWA08	64,234.563	3.459	105,397.032
BWA09	38,602.465	1.390	153,391.893
BWA10	385,674.874	20.540	402,000.244
รวม	3,026,343.000	202.101	32,279,519.481

ตารางที่ 19 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549

ดัชนีด้านความเชื่อถือได้	ค่าดัชนีที่เกิดขึ้นจริงในปี พ.ศ.2549	ค่าดัชนีจากกรณีศึกษาที่ 1
SAIFI (ครั้ง/ราย/ปี)	3.428	2.238
SAIDI (นาที/ราย/ปี)	173.837	111.512

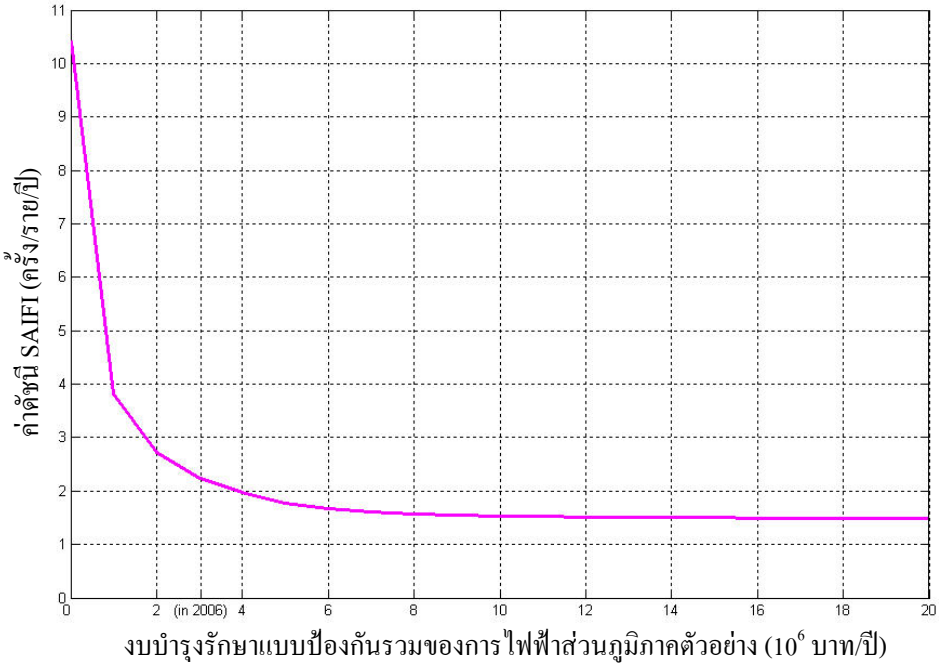
3.2 กรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3

กำหนดค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ เพื่อหาจุดอิ่มตัวของการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกัน และหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง อัตราการล้มเหลวรวม และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

ตารางที่ 20 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3 แสดงค่าอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ และกราฟระหว่างค่าดัชนี SAIFI ที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ แสดงในภาพที่ 19

ตารางที่ 20 อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3

งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
0	586.648	65,846,738.531	10.424	462.085
1,000,000	303.613	39,848,213.039	3.827	190.532
2,000,000	241.860	35,485,713.847	2.719	136.276
3,000,000	202.778	32,336,969.016	2.246	111.948
3,026,343 (พ.ศ. 2549)	202.101	32,279,519.481	2.238	111.512
4,000,000	178.257	30,909,268.718	1.982	96.108
5,000,000	153.334	28,475,488.909	1.772	84.680
6,000,000	140.914	27,364,115.097	1.670	79.064
7,000,000	133.428	26,695,477.457	1.608	75.653
8,000,000	129.437	26,440,497.493	1.572	73.640
9,000,000	126.706	26,196,933.087	1.549	72.387
10,000,000	121.463	24,057,356.439	1.531	71.538
11,000,000	119.510	23,617,537.380	1.523	70.964
12,000,000	113.773	20,874,650.099	1.513	70.671
13,000,000	113.771	20,553,539.414	1.509	70.525
14,000,000	110.986	19,716,009.458	1.504	70.267
15,000,000	109.700	19,132,087.964	1.501	70.151
16,000,000	108.510	18,189,050.979	1.499	70.062
17,000,000	106.619	17,375,519.909	1.497	70.006
18,000,000	106.435	17,131,133.439	1.496	69.946
19,000,000	104.816	16,782,691.756	1.495	69.921
20,000,000	103.103	15,784,671.209	1.494	69.894



ภาพที่ 19 กราฟค่าดัชนี SAIFI ที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

4. ผลจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4

จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4 ต้องการให้ค่าดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (*SAIDI*) น้อยที่สุด ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน (*M*) ที่เหมาะสม

4.1 กรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4

กำหนดให้งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และหาค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของแต่ละสายป้อน อัตราการล้มเหลว และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม

ตารางที่ 21 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4 แสดงค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการ

ล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน โดยกำหนดงบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี และตารางที่ 22 แสดงค่าดัชนี SAIFI และ ดัชนี SAIDI ที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4

ตารางที่ 21 ค่างบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกัน มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และอัตราการล้มเหลวที่เหมาะสมของแต่ละสายป้อน จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BGR02	0.000	1.345	361,135.825
BGR03	584,343.230	20.760	337,671.626
BGR04	0.000	4.588	1,771,060.026
BGR05	473,975.250	4.236	1,053,890.665
BGR07	0.000	4.063	2,562,851.827
BGR08	0.000	0.558	241,550.946
BGR09	0.000	1.061	688,939.661
BGR10	0.000	1.069	317,318.539
BSM01	0.000	1.410	366,882.920
BSM02	0.000	0.517	1,277,157.890
BSM03	0.000	27.680	789,233.678
BSM05	0.000	7.077	1,837,243.143
BSM06	0.000	0.445	819,376.447
BSM07	0.000	1.371	71,831.352
BSM08	0.000	0.862	1,308,852.397
BSM10	0.000	0.555	605,274.672
BSM11	0.000	2.175	2,318,253.005
BSM12	0.000	1.858	433,273.146
BSM13	0.000	2.822	455,735.702
BSM14	0.000	1.608	2,091,482.332
BSK01	8,987.301	0.729	129,543.599

ตารางที่ 21 (ต่อ)

สายป้อน	งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (M_i) (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (λ_i) (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี พ.ศ. 2549 ที่เหมาะสมจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (OCF_i) (บาท/ปี)
BSK03	0.000	3.307	182,247.980
BSK05	0.000	1.241	2,180,881.485
BSK07	177,892.515	2.861	634,125.080
BSK08	0.000	1.049	106,809.723
BSK09	0.000	0.956	357,434.874
BSK10	0.000	2.951	215,302.534
BWA01	99,463.262	4.461	1,819,656.666
BWA02	497,134.319	18.685	849,953.266
BWA03	26,012.600	1.825	298,245.471
BWA04	168,980.238	7.249	2,548,455.804
BWA05	80,835.586	3.524	210,513.302
BWA06	276,107.234	9.171	299,909.399
BWA07	153,073.327	26.896	2,960,667.747
BWA08	63,597.525	3.492	106,401.909
BWA09	43,522.370	1.335	147,400.342
BWA10	372,418.243	20.923	409,503.555
รวม	3,026,343.000	196.715	33,166,068.535

ตารางที่ 22 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง จากกรณีศึกษาที่ 1 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4 เทียบกับค่าจริงในปี พ.ศ. 2549

ดัชนีด้านความเชื่อถือได้	ค่าดัชนีที่เกิดขึ้นจริงในปี พ.ศ.2549	ค่าดัชนีจากกรณีศึกษาที่ 1
SAIFI (ครั้ง/ราย/ปี)	3.428	2.288
SAIDI (นาที/ราย/ปี)	173.837	106.798

4.2 กรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4

กำหนดค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ เพื่อหาจุดอิ่มตัวของการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกัน และหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง อัตราการล้มเหลวรวม และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

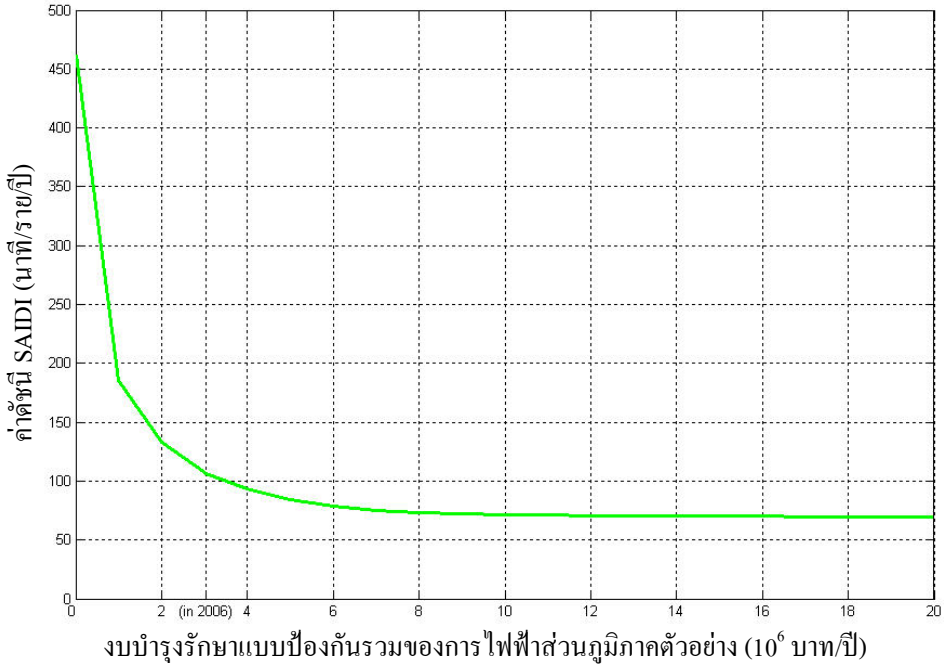
ตารางที่ 23 สรุปผลที่ได้จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4 แสดงค่าอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ และกราฟระหว่างค่าดัชนี SAIDI ที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ แสดงในภาพที่ 20

ตารางที่ 23 อัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ จากกรณีศึกษาที่ 2 ของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4

งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
0	586.648	65,846,738.531	10.424	462.085
1,000,000	300.979	42,969,422.428	4.114	185.261
2,000,000	232.331	36,448,103.765	2.844	132.766
3,000,000	197.442	33,234,269.800	2.298	107.293
3,026,343 (พ.ศ. 2549)	196.715	33,166,068.535	2.288	106.798
4,000,000	181.932	31,759,952.834	2.015	93.544
5,000,000	153.632	29,288,873.304	1.802	84.005
6,000,000	141.985	28,264,001.685	1.690	78.706
7,000,000	133.294	26,815,648.237	1.620	75.409
8,000,000	129.668	26,803,364.782	1.578	73.469
9,000,000	124.207	25,138,454.597	1.551	72.175
10,000,000	123.146	24,897,231.525	1.535	71.457

ตารางที่ 23 (ต่อ)

งบที่ใช้บำรุงรักษาแบบป้องกันรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
11,000,000	119.578	23,657,330.189	1.525	70.912
12,000,000	116.374	21,853,346.223	1.516	70.595
13,000,000	115.051	21,525,027.772	1.511	70.386
14,000,000	111.925	20,209,000.208	1.505	70.210
15,000,000	110.238	19,113,993.957	1.501	70.108
16,000,000	108.930	18,429,763.927	1.499	70.027
17,000,000	106.9940	17,756,181.968	1.497	69.966
18,000,000	106.907	17,628,398.549	1.496	69.930
19,000,000	106.345	17,014,006.168	1.496	69.914
20,000,000	105.306	16,816,142.817	1.495	69.882



ภาพที่ 20 กราฟค่าดัชนี SAIDI ที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันต่างๆ

วิจารณ์

1. กรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 24 สรุปค่าอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI จากกรณีศึกษาที่ 1 ของทุกฟังก์ชั่นจุดประสงค์ โดยให้งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี

ตารางที่ 24 สรุปค่าอัตราการล้มเหลว มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ค่าดัชนี SAIFI และค่าดัชนี SAIDI จากกรณีศึกษาที่ 1 ของทุกฟังก์ชั่นจุดประสงค์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันเท่ากับปี พ.ศ. 2549 คือ 3,026,343 บาท/ปี

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์	อัตราการล้มเหลวรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ปี)	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (บาท/ปี)	ค่าดัชนี SAIFI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (ครั้ง/ราย/ปี)	ค่าดัชนี SAIDI ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง (นาที/ราย/ปี)
Minimize TOC	220.966	22,626,945.738	3.045	157.897
Minimize λ_{total}	175.862	28,408,809.244	2.547	119.090
Minimize SAIFI	202.101	32,279,519.481	2.238	111.512
Minimize SAIDI	196.715	33,166,068.535	2.288	106.798
ค่าจริงปี พ.ศ. 2549	246.766	28,870,110.591	3.428	173.837

เมื่อมีการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมกับฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ต้องการ ทำให้ผลที่ได้ในฟังก์ชั่นจุดประสงค์นั้นๆ มีค่าน้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงปี พ.ศ. 2549 โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกันแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 25 จะเห็นว่า จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1 สามารถลดมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมจาก 28,870,110.591 บาท/ปี เหลือ 22,626,945.738 บาท/ปี หรือคิดเป็น 21.625% จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2 สามารถลดอัตราการล้มเหลวรวมจาก 246.766 ครั้ง/ปี เหลือ 175.862 ครั้ง/ปี หรือคิดเป็น 28.733% จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3 สามารถลดค่าดัชนี SAIFI จาก 3.428 ครั้ง/ราย/ปี เหลือ 2.238 ครั้ง/ราย/ปี หรือคิด

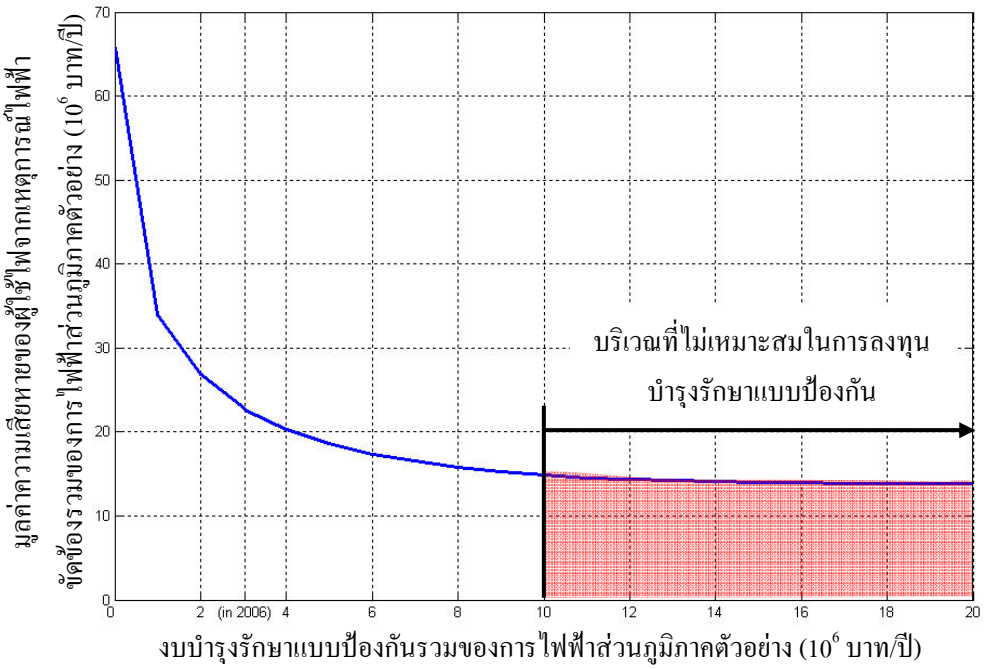
เป็น 34.714% และจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4 สามารถลดค่าดัชนี SAIDI จาก 173.837 นาที/ราย/ปี เหลือ 106.798 นาที/ราย/ปี หรือคิดเป็น 38.564% ซึ่งการที่จะเลือกจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับกลยุทธ์ของทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างว่ามีความต้องการที่จะลดค่าใดมากที่สุด แต่กลยุทธ์ที่ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคควรให้ความสนใจคือ การลดมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง หรือฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1 เพราะหน้าที่หลักของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคคือต้องทำให้ผู้ใช้ไฟได้รับความพึงพอใจ ซึ่งมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องเป็นตัวชี้วัดถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟได้มากที่สุด โดยเฉพาะผู้ใช้ไฟที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟที่มีความเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องมากที่สุด

ตารางที่ 25 ตารางเปรียบเทียบผลที่ต้องการจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์กับค่าที่เกิดขึ้นจริงปี พ.ศ. 2549

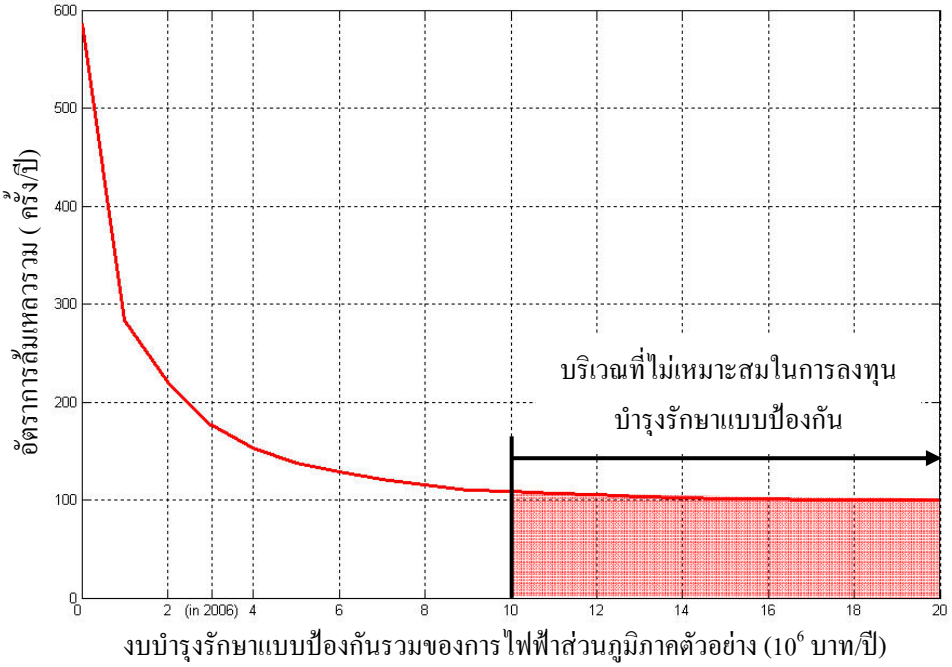
ฟังก์ชั่นจุดประสงค์	ผลที่ต้องการจากฟังก์ชั่นจุดประสงค์	ค่าที่เกิดขึ้นจริงปี พ.ศ. 2549	ค่าที่ได้จากฟังก์ชั่นจุดประสงค์	% ที่สามารถลดได้
Minimize TOC	มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวมน้อยที่สุด	28,870,110.591 บาท/ปี	22,626,945.738 บาท/ปี	21.625
Minimize λ_{total}	อัตราการล้มเหลวรวมน้อยที่สุด	246.766 ครั้ง/ปี	175.862 ครั้ง/ปี	28.733
Minimize SAIFI	ค่าดัชนี SAIFI น้อยที่สุด	3.428 ครั้ง/ราย/ปี	2.238 ครั้ง/ราย/ปี	34.714
Minimize SAIDI	ค่าดัชนี SAIDI น้อยที่สุด	173.837 นาที/ราย/ปี	106.798 นาที/ราย/ปี	38.564

2. กรณีศึกษาที่ 2

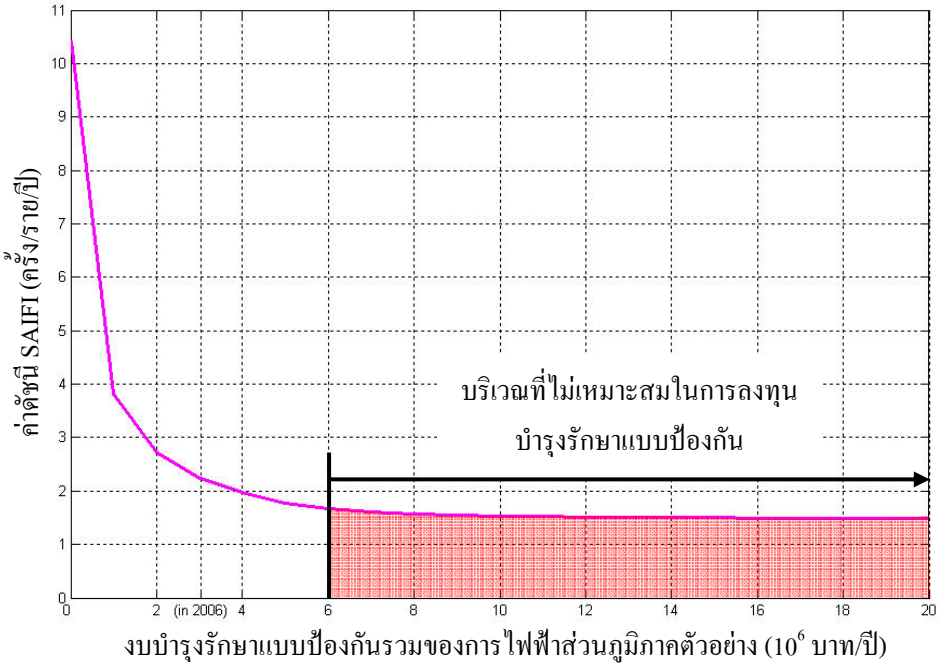
จากภาพที่ 17 – 20 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ต้องการในแต่ละฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่งบบำรุงรักษาแบบป้องกันรวมต่างๆ และเมื่อพิจารณาถึงจุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละฟังก์ชั่นจุดประสงค์แสดงในภาพที่ 21 – 24



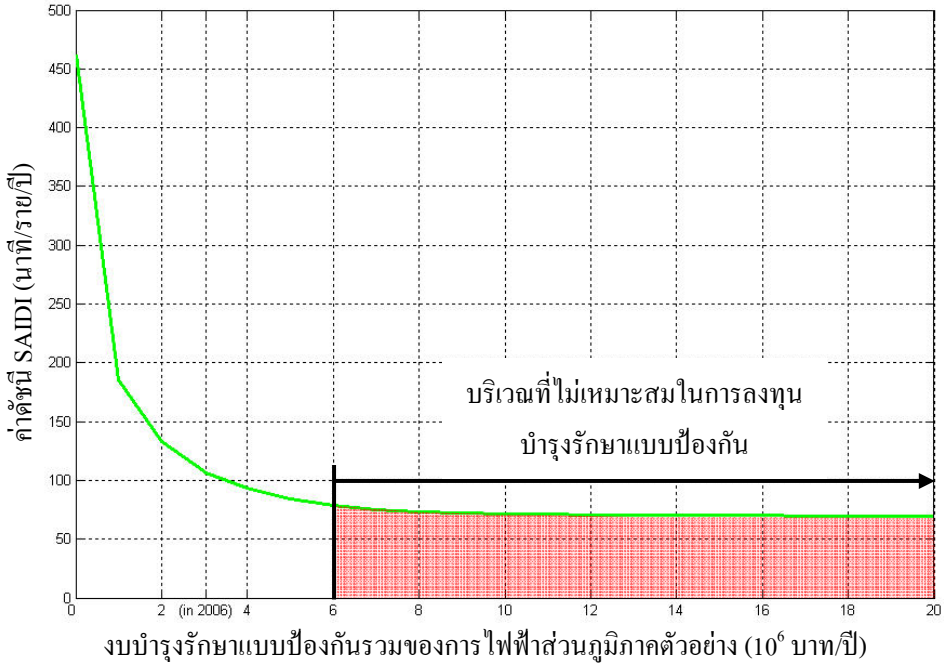
ภาพที่ 21 จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 1



ภาพที่ 22 จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 2



ภาพที่ 23 จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 3



ภาพที่ 24 จุดอิ่มตัวในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ 4

จากภาพที่ 21 – 24 สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจกำหนดค่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันในปีต่อไปของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างได้ โดยจากภาพแสดงถึงจุดอิ่มตัวของการบำรุงรักษาแบบป้องกันซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่เหมาะสมกับการลงทุนทำการบำรุงรักษา ส่วนงบประมาณที่เหมาะสมในการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันของการไฟฟ้าตัวอย่างนั้นต้องขึ้นอยู่กับทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าจะจัดสรรงบประมาณมาให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างเท่าใดโดยค่าดัชนีความเชื่อถือได้ก็ควรจะสอดคล้องกับงบประมาณที่ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจัดสรรมาให้ด้วยดังได้แสดงไปแล้วในตารางที่ 14, 17, 20 และ 23 ซึ่งขึ้นอยู่กับกับกลยุทธ์ที่ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะเลือกใช้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนั้นเป็นการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาคในการแก้ปัญหาโดยทำการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่าง คือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกง โดยมีฟังก์ชั่นจุดประสงค์อยู่ทั้งหมด 4 ฟังก์ชั่นคือ

1. ต้องการให้เกิดมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องรวม (*TOC*) น้อยที่สุด
2. ต้องการให้อัตราการล้มเหลวรวม (λ_{total}) น้อยที่สุด
3. ต้องการให้ค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (*SAIFI*) น้อยที่สุด
4. ต้องการให้ค่าดัชนีระยะเวลาของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบโดยเฉลี่ย (*SAIDI*) น้อยที่สุด

ภายใต้การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมกับแต่ละฟังก์ชั่นจุดประสงค์ จากผลที่ได้จะเห็นว่าการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกัน และค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของแต่ละฟังก์ชั่นจุดประสงค์จะมีค่าแตกต่างกันไป โดยสอดคล้องกับการจัดสรรงบประมาณต่างๆ ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างว่า จะมีกลยุทธ์อย่างไรในการทำการบำรุงรักษาแบบป้องกันและขึ้นอยู่กับงบประมาณที่ทางการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจัดสรรมาให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างอีกด้วย

กระบวนการจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอนั้นสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอื่นๆได้ทั่วประเทศ และสามารถนำไปวางแผนในการปรับปรุง และบำรุงรักษาระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่มีความน่าเชื่อถือต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การจัดสรรงบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ยังไม่ได้นำมาวิจัย เช่น ค่าไฟที่การไฟฟ้าได้รับของแต่ละสายป้อน เป็นต้น เพื่อดูว่างบบำรุงรักษาแบบป้องกันที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคลงทุนไปนั้นมีความเหมาะสมกับค่าไฟที่การไฟฟ้าได้รับหรือไม่ และสามารถนำจุดอิ่มตัวของการลงทุนบำรุงรักษาแบบป้องกันที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้ไปพิจารณาปรับปรุงระบบไฟฟ้าเพื่อเพิ่มระดับความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตัวอย่างได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2549. **ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า.** ธนภาคพริ้นติ้ง, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยพลังงาน. 2544. **การศึกษาอัตราอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ.** จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

Gaing, Z.L. 2003. **Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints.** IEEE TRANSACTION ON POWER SYSTEMS, VOL. 18, NO.3.

Kuntz, P.A., R.D. Christie and S.S. Venkata. 2002. **Optimal Vegetation Maintenance Scheduling of Overhead Electric Power Distribution Systems**. IEEE TRANSACTION ON POWER DELIVERY, VOL. 17, NO.4.

Liu, L., and D.A. Cartes. 2006. **A Particle Swarm Optimization Approach for Automatic Diagnosis of PMSM Stator Fault.** Proceedings of the 2006 American Control Conference Minneapolis, Minnesota, USA.

Park, J.B., Y.W. Jeong, W.N. Lee and J.R. Shin. 2006. **An Improved Particle Swarm Optimization for Economic Dispatch Problems with Non-Smooth Cost Functions.** IEEE Power Engineering Society General Meeting.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายนิพนธ์ ภู่ทอง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 5 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	ปี 2549 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนเรียนดี ระดับปริญญาโท ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปี พ.ศ. 2551