



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองมาร์คอฟ
กรณีศึกษาการไฟฟ้านครหลวงเขตสามเสน

Maintenance Planning for Electric Power Distribution Systems using Markov Model:
A Case Study of MEA Samsen District

นามผู้วิจัย นางสาวสุภารัตน์ สมคะเน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสีทจี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองมาร์คอฟ
กรณีศึกษาการไฟฟ้านครหลวงเขตสามเสน

Maintenance Planning for Electric Power Distribution Systems using Markov Model:
A Case Study of MEA Samsen District

โดย

นางสาวสุดารัตน์ สมกะเน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุดารัตน์ สมคะเน 2557: การวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้
แบบจำลองมาร์คอฟ กรณีศึกษาการไฟฟ้านครหลวงเขตสามเสน ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 77 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการการวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า
นครหลวง ด้วยแบบจำลองมาร์คอฟโดยใช้การแจกแจงแบบไวบูลล์ในการหาอัตราการเกิด
ความล้มเหลวจากสถิติไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน และใช้ค่าดังกล่าวเป็น
พารามิเตอร์ของแบบจำลองมาร์คอฟในการหาความน่าจะเป็นของสถานะปกติและสถานะ
ขัดข้องของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และนำเสนอวิธีการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น เมื่อระบบอยู่ใน
สถานะต่างๆ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาและวางแผนบำรุงรักษาระบบ
จำหน่ายไฟฟ้าด้วยวาระการดำเนินการที่เหมาะสมและใช้งบบำรุงรักษาอย่างคุ้มค่าภายใต้
บำรุงรักษาที่จำกัด และมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยอนาคตอาจสามารถนำวิธีการวางแผน
บำรุงรักษาโดยใช้แบบจำลองมาร์คอฟ ไปดำเนินการในพื้นที่อื่นๆ ของการไฟฟ้านครหลวงได้
ต่อไป

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Sudarat Somkane 2014: Maintenance Planning for Electric Power Distribution Systems using Markov Model: A Case Study of MEA Samsen District. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpreedapong, Ph.D. 77 pages.

The purpose of this thesis is to present the procedure of maintenance planning of electrical power distribution systems using a Markov Model technique for the Metropolitan Electricity Authority (MEA) Samsen district. The Weibull distribution procedure is used to evaluate the failure rate using interruption record of the MEA Samsen district. The average failure rate is considered as the parameter of the Markov Model to calculate the probability of being in the normal and failure states of the electrical power distribution system. Consequently, the calculation method of the expenses in all states can be illustrated. The above steps are applied to determine the suitable maintenance frequency for the distribution system subject to a limited budget using an optimization technique. In future, this presented procedure can be applied to any other MEA electrical power distribution systems for optimal maintenance planning.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนทำการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อัน เป็นประโยชน์ให้กับข้าพเจ้า และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิศวกรรมไฟฟ้า และบัณฑิตวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณพนักงานการไฟฟ้านครหลวง ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่อง ข้อมูลเกี่ยวกับการทำการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือทุกๆ ด้านและให้คำแนะนำที่เป็น ประโยชน์ สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้อาจมีข้อผิดพลาดอยู่บ้างไม่มากนักน้อย ข้าพเจ้าขอภัยและน้อมรับคำติ ชมไว้ ณ ที่นี้ และด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบคุณความ ดีนี้ให้แก่บิดาและมารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนในทุกด้านและให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนเพื่อน ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้บรรลุผลสำเร็จ

สุดาร์ตน์ สมกะเน

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	47
ผล	47
วิจารณ์	61
สรุปและข้อเสนอแนะ	63
สรุป	63
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ภาคผนวก	68
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แผนการดำเนินงาน	3
2	สถิติไฟฟ้าขัดข้องภายในสถานีไฟฟ้าย่อยแสนแสบ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 – 2556	31
3	ประเภทของสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้องกับกิจกรรมบำรุงรักษา	34
4	ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์	36
5	สถิติไฟฟ้าขัดข้องที่ทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีการตัดต้นไม้	37
6	สถิติไฟฟ้าขัดข้องที่ทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตรวจสอบสายป้อน	38
7	สถิติไฟฟ้าขัดข้องที่ทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part	39
8	ค่าเวลาที่อุปกรณ์ทำงานก่อนจะขัดข้อง หน่วยเป็นนาที	40
9	รายละเอียดการบำรุงรักษาระบบด้วยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part	40
10	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวและงบบำรุงรักษาในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part ที่ค่าต่างๆ	41
11	ค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อบำรุงรักษาด้วยวิธีการตัดต้นไม้ที่วาระดำเนินการต่างๆ กัน	49
12	ค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อบำรุงรักษาด้วยวิธีการตรวจสอบสายป้อนที่วาระดำเนินการต่างๆ กัน	50
13	ค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อบำรุงรักษาด้วยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part ด้วยเงินบำรุงรักษาค่าต่างๆ กัน	53
14	ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของการทำกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ เมื่อมีงบบำรุงรักษาจำกัด ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในระบบน้อยที่สุด	57
15	ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของการทำกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ เมื่อมีงบบำรุงรักษาจำกัด ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้องรวมทั้งหมดในระบบมีค่าน้อยที่สุด	58

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูลล์	6
2	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบไวบูลล์	8
3	ระบบที่ประกอบด้วย 2 สถานะ	9
4	สถานะการทำงานของอุปกรณ์ใดๆ	12
5	สถานะการทำงานของอุปกรณ์พร้อมทั้งค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ	12
6	มาร์คอฟโมเดลของอุปกรณ์หนึ่ง	13
7	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวกับการบำรุงรักษาระบบ	14
8	ตัวอย่างลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Lévy Flights	15
9	การเขียนคำสั่งเทียม (Pseudo code) ของการค้นหาแบบนกกาเหว่า	19
10	แผนผังขั้นตอนพื้นฐานของการค้นหาแบบนกกาเหว่า	20
11	อัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์หรือระบบตามเวลา	21
12	อัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้าในปัจจุบัน	22
13	รูปแบบการบำรุงรักษาแบบป้องกัน	25
14	รูปแบบการบำรุงรักษาแบบแก้ไข	27
15	ขั้นตอนการดำเนินงาน	29
16	คำสั่งในการหาค่าพารามิเตอร์ การแจกแจงแบบไวบูลล์	37
17	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวกับการบำรุงรักษาด้วยวิธีการ ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part	42
18	ค่าใช้จ่ายที่สถานะต่างๆ ของระบบ	42
19	อัตราการเกิดความล้มเหลวเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตัดต้นไม้	47
20	อัตราการเกิดความล้มเหลวเมื่อบำรุงรักษาด้วยวิธีตรวจสอบสายป้อน	48
21	ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของระบบเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตัดต้นไม้ม	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของระบบเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตรวจสอบสายป้อน	54
23	ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของระบบเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part	55
24	ความสัมพันธ์ระหว่างงบบำรุงรักษากับค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อย	60

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

λ	=	อัตราการเกิดความล้มเหลว (Failure Rate)
TTF	=	ระยะเวลาก่อนที่จะอุปกรณ์จะเสีย (Time to Failure)
MTTF	=	ระยะเวลาก่อนที่จะอุปกรณ์จะเสียเฉลี่ย (Mean time to Failure)
MTTR	=	ระยะเวลาในการซ่อมแซมระบบเฉลี่ย (Mean Time to Repair)
μ	=	อัตราการซ่อมแซม (Repair Rate)
IER	=	อัตราค่าความเสียหายต่อพลังงานเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง (Interruption Energy Rate)
ECOST	=	มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้อง
ENS	=	พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไม่ได้เนื่องจากไฟฟ้าขัดข้อง (Energy Not Supply)
α	=	Scale parameter
β	=	Shape parameter
P	=	ความน่าจะเป็น (Probability)
τ	=	ความถี่ในการทำการบำรุงรักษา
CSA	=	วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search Algorithm, CSA)
IM	=	การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance)
PM	=	การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance)
CM	=	การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance)
TC_s	=	ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีย่อย
TOC_s	=	ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีย่อยที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้อง
TrC_1	=	ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบเคลื่อนที่จากสถานะที่ 1 ไปสถานะที่ 2
MC_1	=	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบเมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 1
SC_1	=	ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 1
TrC_2	=	ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบเคลื่อนที่จากสถานะที่ 2 ไปสถานะที่ 1
MC_2	=	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบเมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 2
SC_2	=	ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ 2

การวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองมาร์คอฟ กรณีศึกษาการไฟฟ้านครหลวงเขตสามเสน

Maintenance Planning for Electric Power Distribution Systems using Markov Model: A Case Study of MEA Samsen District

คำนำ

ในปัจจุบันความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้วัดคุณภาพการบริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยที่การลงทุนด้านการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีผลโดยตรงต่อความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ดังนั้นในการลงทุนดังกล่าวควรต้องมีการวางแผนอย่างเหมาะสมที่สุด เนื่องจากในอดีตการวางแผนทำการบำรุงรักษามักจะมาจากแผนงานเดิมที่เคยทำหรือจากข้อมูลก่อนหน้าปีต่อปี ไม่มีการวิเคราะห์ผลได้ผลเสียอย่างจริงจัง และไม่มีการนำข้อมูลทางสถิติหรือข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องในอดีตมาใช้ ทำให้การวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าไม่มีแบบแผนและไม่รับรองความสำเร็จในดำเนินการ

วิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้จากแบบจำลองมาร์คอฟเพื่อนำไปประกอบการวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง เริ่มจากการหาค่าอัตราเกิดความล้มเหลวจากสถิติไฟฟ้าขัดข้องโดยใช้การแจกแจงแบบไวบูลล์ และใช้ค่าดังกล่าวเป็นพารามิเตอร์ของแบบจำลองมาร์คอฟในการหาค่าความน่าจะเป็นของสถานะปกติและสถานะขัดข้องของระบบจำหน่ายไฟฟ้า จากนั้นได้นำเสนอวิธีการประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อระบบอยู่ในสถานะต่างๆ เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการเลือกความถี่ของการบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้งบประมาณการบำรุงรักษาที่จำกัด ซึ่งในอนาคตอาจนำการวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองมาร์คอฟ ไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ในการไฟฟ้านครหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้องในการไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน
2. ศึกษาประเภทของกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ ที่ดำเนินการในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม รวมถึงผลต่อการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความเชื่อถือได้
3. ใช้แบบจำลองมาร์คอฟในการหาค่าความน่าจะเป็นของสถานะปกติและสถานะขัดข้องของระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อศึกษาว่าควรทำการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายด้วยความถี่ใดจึงจะคุ้มค่าและเหมาะสมต่อการลงทุน
4. พัฒนาระบวนการเลือกความถี่และปริมาณงานของกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน ภายใต้งบบำรุงรักษาที่จำกัด

แผนการดำเนินโครงการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และทำความเข้าใจหลักทฤษฎีต่างๆ ตลอดจนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งดำเนินการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ ซึ่งมีแผนการดำเนินงานดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือนที่					
	1	2	3	4	5	6
1. ศึกษาบทความต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย						
2. เก็บรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในพื้นที่ที่ต้องการศึกษา						
3. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อหาพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองมาร์คอฟ						
4. พัฒนาระบบการเพื่อหาค่าความถี่ที่เหมาะสมในการวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า สำหรับการไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน						
5. วิเคราะห์และสรุปผล						
6. นำเสนอวิทยานิพนธ์ในการสอบสัมภาษณ์ขั้นสุดท้าย						
7. การปรับปรุงแก้ไข การพิมพ์วิทยานิพนธ์และเข้ารูปเล่ม						

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำสถิติไฟฟ้าขัดข้องที่เก็บไว้มาใช้วิเคราะห์ให้เกิดประโยชน์
2. สามารถวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง เหมาะสม มีแบบแผน และใกล้เคียงกับสภาพหน้างานจริงมากที่สุด
3. ทำให้สามารถควบคุมและประเมินค่าใช้จ่ายในการวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ซึ่งจะทำให้การลงทุนมีประสิทธิภาพและเกิดความคุ้มค่ามากที่สุด
4. เป็นการนำเสนอแนวทางตัวอย่างในการวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อประโยชน์ในทางวิศวกรรม เพื่อเป็นต้นแบบและแนวคิดในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

การตรวจเอกสาร

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1. อัตราการเกิดความล้มเหลว (Failure Rate : λ) คือ อัตราการเกิดความล้มเหลวของระบบหรืออุปกรณ์ที่สนใจ มีหน่วยเป็น ครั้งต่อช่วงเวลา

2. ระยะเวลาก่อนที่อุปกรณ์จะเสีย (Time to Failure : TTF) คือ ระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำงานก่อนที่อุปกรณ์จะเสีย

3. ระยะเวลาก่อนที่อุปกรณ์จะเสียเฉลี่ย (Mean Time to Failure : MTTF) คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำงานก่อนที่อุปกรณ์จะเสีย

4. ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ย (Mean Time to Repair : MTTR) คือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการซ่อมแซมระบบ

5. อัตราการซ่อมแซม (Repair Rate : μ) หรือส่วนกลับของ MTTR มีหน่วยเป็นต่อหน่วยเวลา ดังสมการ (1)

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (1)$$

6. อัตราค่าความเสียหายต่อพลังงานเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง (Interruption Energy Rate : IER) หน่วยเป็น บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังสมการ (2)

$$IER = \frac{\text{Interruption Cost}}{\text{Energy Not Supplied}} = \frac{ECOST}{ENS} \quad (2)$$

เมื่อ ECOST คือ มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้อง หน่วยเป็นบาท
 ENS คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไม่ได้เนื่องจากไฟฟ้าขัดข้อง
 หน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การแจกแจงแบบไวบูลล์ (Weibull Distribution)

พหล (2550) การแจกแจงแบบไวบูลล์ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับทฤษฎีความเชื่อถือได้ (Reliability Theory) ประยุกต์กับการแจกแจงระยะเวลาที่สิ่งของนั้นๆ จะมีการใช้งานไปได้อีกนานเท่าไรหลังจากการใช้งานได้คืออยู่จนถึงเวลา t ที่กำหนดขึ้น การแจกแจงไวบูลล์เป็นการแจกแจงที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางวิศวกรรมศาสตร์ เนื่องจากการแจกแจงที่มีความยืดหยุ่นสูง ลักษณะของกราฟฟังก์ชันเปลี่ยนแปลงได้ และนิยมใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นของอายุการใช้งานของอุปกรณ์หรือระบบ

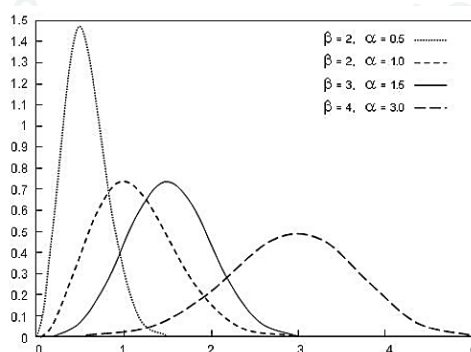
1.1 ฟังก์ชันการแจกแจง (Probability Density Function, PDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูลล์สามารถเขียนได้ดังสมการ (3)

$$f(t; \beta, \alpha) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta}} \quad \text{เมื่อ } t > 0, \alpha > 0 \text{ และ } \beta > 0 \quad (3)$$

โดยที่ α = Scale parameter

β = Shape parameter



ภาพที่ 1 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบไวบูลล์

Scale Parameter (α) คือ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแกนเวลา ถ้าค่าพารามิเตอร์นี้เพิ่มหรือลดจะทำให้การกระจายเปลี่ยนแปลงไปตามแกนเวลา

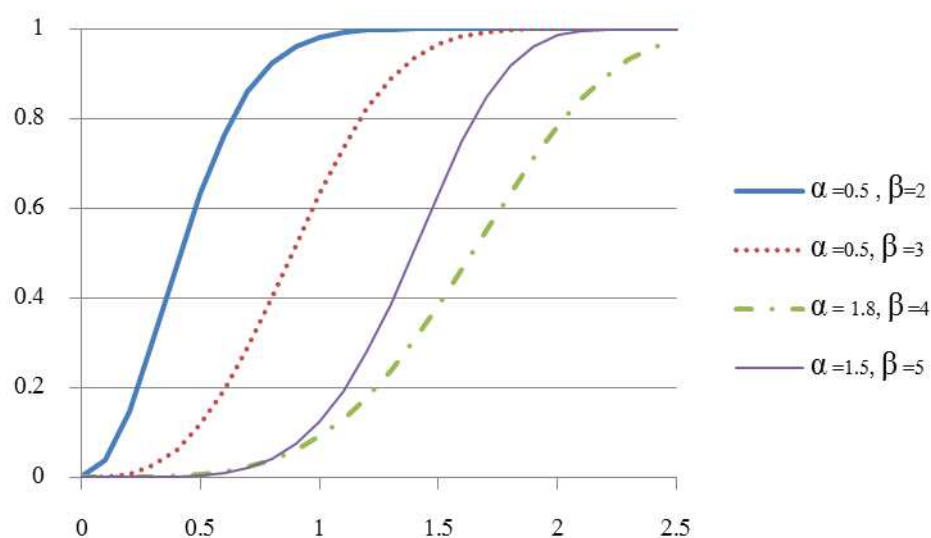
Shape Parameter (β) คือ พารามิเตอร์ที่บอกลักษณะของเส้นโค้งของกราฟตามภาพที่ 1 ที่อธิบายถึงอัตราการเกิดความล้มเหลว และบอกว่าเป็นการกระจายแบบใด ซึ่งค่าของพารามิเตอร์นี้มีช่วงที่น่าสนใจอยู่ 3 ช่วง คือ

1. ช่วงที่ Shape Parameter มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ($0 < \beta < 1$) จะเป็นช่วงที่ฟังก์ชันอัตราการเกิดความล้มเหลวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น
2. ช่วงที่ Shape Parameter มีค่าเท่ากับ 1 ($\beta = 1$) จะเป็นการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล โดยที่ฟังก์ชันความน่าจะเป็นจะลดลงเพียงอย่างเดียว แต่อัตราการเกิดความล้มเหลวจะคงที่
3. ช่วงที่ Shape Parameter มีค่ามากกว่า 1 ($\beta > 1$) เส้นโค้งของกราฟตามภาพที่ 1 จะเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะของอุปกรณ์ที่ผ่านช่วงทดลองไปแล้ว และกำลังใช้งานอยู่ ในช่วงนี้อัตราการเกิดความล้มเหลวจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา

1.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function, CDF)

ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบไวบูลล์ สามารถเขียนได้ดังสมการ (4)

$$F(t; \beta, \alpha) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \text{ เมื่อ } t > 0, \alpha > 0 \text{ และ } \beta > 0 \quad (4)$$



ภาพที่ 2 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบไวบูลล์

1.3 ฟังก์ชันการเกิดความล้มเหลว (Failure Function)

ฟังก์ชันการเกิดความล้มเหลวของการแจกแจงแบบไวบูลล์สามารถเขียนได้ดังสมการ (5) คือ

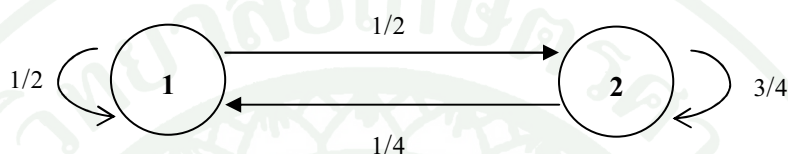
$$\lambda(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\alpha^\beta}; \text{ Weibull Distribution} \quad (5)$$

2. แบบจำลองมาร์คอฟ (Markov Modeling)

ชำนาญ (2549) แบบจำลองมาร์คอฟเป็นวิธีการที่ใช้กันมากในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ โดยแบบจำลองนี้ถูกใช้ในการวิเคราะห์ระบบที่มีพฤติกรรมแบบสุ่ม บนเงื่อนไขที่สถานะในอนาคตไม่ขึ้นอยู่กับสถานะอดีต และพฤติกรรมของระบบจะคงที่ทุกช่วงเวลา

2.1 แนวคิดจำลองแบบทั่วไป

พิจารณาจากภาพที่ 3 ระบบประกอบด้วย 2 สถานะ คือสถานะที่ 1 และสถานะที่ 2 ซึ่งความน่าจะเป็นของการอยู่ในสถานะ (Remaining a State) และออกจากสถานะ (Leaving a State) ที่แสดงไว้ในภาพ กำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณาโดยการเปลี่ยนสถานะมีลักษณะเกิดขึ้นอย่างไม่ต่อเนื่อง (Discrete)



ภาพที่ 3 ระบบที่ประกอบด้วย 2 สถานะ

จากภาพที่ 3 จะเห็นว่าถ้าระบบเริ่มต้นอยู่ในสถานะที่ 1 ระบบจะอยู่ในสถานะที่ 1 ด้วยความน่าจะเป็น $1/2$ และสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นสถานะที่ 2 ด้วยความน่าจะเป็น $1/2$ หรือถ้าพิจารณาระบบเมื่อเริ่มต้นอยู่ในสถานะที่ 2 ระบบจะอยู่ในสถานะที่ 2 ด้วยความน่าจะเป็น $3/4$ และจะเปลี่ยนสถานะกลับเป็นสถานะที่ 1 ด้วยความน่าจะเป็น $1/4$

จากภาพที่ 3 ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะของระบบถูกแสดงด้วยเมตริกซ์ P ดังสมการที่ 6 คือ

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{bmatrix} \quad (6)$$

เมื่อ P_{ij} ค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะ i ไปยังสถานะ j

กรณีที่มีระบบมี n-state

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \cdots & P_{2n} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & \cdots & P_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{n3} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

เมตริกซ์นี้เรียกว่า “Stochastic Transitional Probability Matrix” ซึ่งผลรวมของค่าความน่าจะเป็นของแต่ละแถวต้องเท่ากับ 1 เสมอ

การหาค่าความน่าจะเป็นของสถานะที่มีขีดจำกัด (Limiting State Value) จะใช้หลักการที่ว่า เมื่อคูณค่าความน่าจะเป็นของสถานะที่มีขีดจำกัดกับค่าเมตริกซ์การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็น (Stochastic Transitional Probability Matrix) แล้ว ค่าของความน่าจะเป็นของสถานะนั้นยังคงเท่าเดิม

ถ้ากำหนดให้

P_1 และ P_2 ค่าความน่าจะเป็นขีดจำกัด (Limiting Probability)

α เวกเตอร์ของความน่าจะเป็น

P Stochastic Transitional Probability Matrix

สามารถอธิบายได้ดังสมการ (8)

$$\alpha P = \alpha \quad (8)$$

การประยุกต์ใช้กับระบบในภาพที่ 3 เมื่อกำหนดให้ P_1 และ P_2 เป็นค่าความน่าจะเป็นขีดจำกัดที่อยู่ในสถานะที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และสามารถหาค่า P_1 และ P_2 ได้ตามดังสมการ (9) – (14)

$$[P_1 \ P_2]P = [P_1 \ P_2] \quad (9)$$

$$[P_1 \ P_2] \begin{pmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/4 & 3/4 \end{pmatrix} = [P_1 \ P_2] \quad (10)$$

ดังนั้น

$$\frac{1}{2}P_1 + \frac{1}{4}P_2 = P_1 \quad (11)$$

$$\frac{1}{2}P_1 + \frac{3}{4}P_2 = P_2 \quad (12)$$

เห็นได้ว่าสมการ (11) เทียบเท่าสมการ (12) จึงเลือกใช้ได้เพียงสมการใดสมการหนึ่งเท่านั้น
 ดังสมการ (13)

$$-\frac{1}{2}P_1 + \frac{1}{4}P_2 = 0 \quad (13)$$

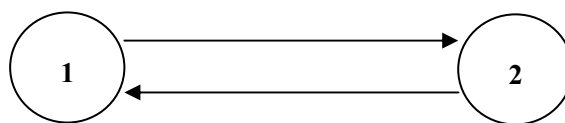
ดังนั้น ต้องหาสมการเพิ่มโดยอ้างจากความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่ในสถานะที่ 1 รวมกับความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่ในสถานะที่ 2 เท่ากับหนึ่ง ดังสมการ (14) คือ

$$P_1 + P_2 = 1 \quad (14)$$

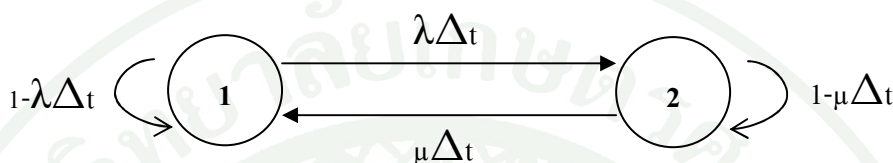
และแก้สมการหาค่า P_1 และ P_2 ของภาพที่ 3 จะได้ค่า P_1 เท่ากับ 0.333 และ P_2 เท่ากับ 0.667

2.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองมาร์คอฟกับความเชื่อถือได้

อุปกรณ์ใดๆ มีสถานะการทำงานดังแสดงในภาพที่ 4 คือสถานะที่ 1 ระบบทำงานปกติ และสถานะที่ 2 ระบบทำงานล้มเหลว โดยมีค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ใดๆ



ภาพที่ 5 สถานะการทำงานของอุปกรณ์พร้อมทั้งค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ

จากภาพที่ 5 สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ อุปกรณ์ยังสามารถทำงานได้เมื่อเวลาผ่านไป t เท่ากับ $R(t) = e^{-\lambda t}$ เมื่อ

$$e^{-\lambda t} \text{ แดกเป็นอนุกรมได้ดังนี้ } e^{-\lambda t} = 1 - \lambda\Delta t + (\lambda\Delta t)^2 - (\lambda\Delta t)^3 \dots$$

เมื่อแดกเป็นอนุกรมและเอาเฉพาะกำลังหนึ่ง จะได้ $R(t) = 1 - \lambda\Delta t$

ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ทำงานอยู่และยังคงสถานะนี้ต่อไป มีค่า $1 - \lambda\Delta t$

ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ทำงานอยู่และเปลี่ยนไปเป็นสถานะทำงานล้มเหลว มีค่า $\lambda\Delta t$

ทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาเรื่องการซ่อมจะได้

ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ซ่อมอยู่และยังคงสถานะนี้ต่อไป มีค่า $1 - \mu\Delta t$

ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์เปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะทำงานปกติ มีค่า $\mu\Delta t$

เมื่อต้องการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นของสถานะจำกัด (Limiting state probability) จะได้ดังสมการ (15) – (17)

$$[P_1 \ P_2]P = [P_1 \ P_2] \quad (15)$$

$$[P_1 \ P_2] \begin{pmatrix} 1 - \lambda\Delta t & \lambda\Delta t \\ \mu\Delta t & 1 - \mu\Delta t \end{pmatrix} = [P_1 \ P_2] \quad (16)$$

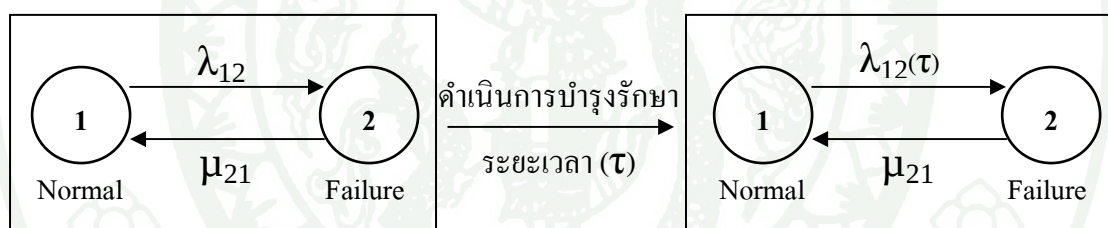
$$P_1 + P_2 = 1 \quad (17)$$

และจากสมการ (15) – (17) สามารถหาค่า P_1 และ P_2 ได้ดังสมการ (18) และ (19)

$$P_1 = \frac{\mu}{(\lambda + \mu)} \quad (18)$$

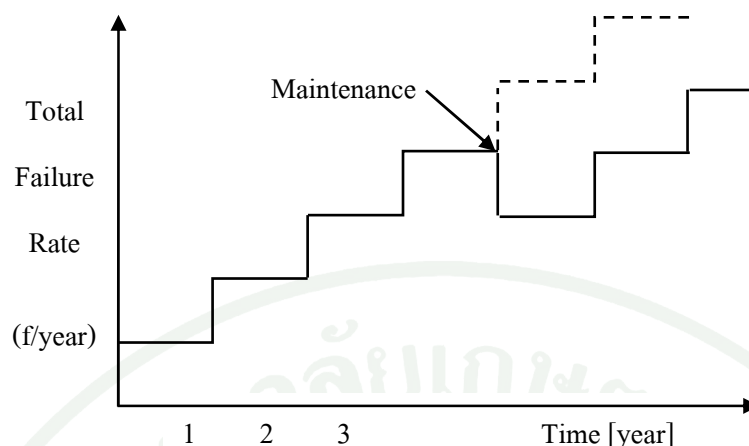
$$P_2 = \frac{\lambda}{(\lambda + \mu)} \quad (19)$$

Moon *et al.* (2006) โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองมาร์คอฟสามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 6 ด้านซ้ายมือ คือ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะ 1 ไป 2 หรือเปลี่ยนจากสถานะอุปกรณ์ทำงานปกติเป็นสถานะที่อุปกรณ์ทำงานล้มเหลว



ภาพที่ 6 มาร์คอฟโมเดลของอุปกรณ์หนึ่ง

โดยทั่วไปแล้วเมื่อระบบไม่มีการบำรุงรักษา อัตราการเกิดความล้มเหลว (λ) จะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีการทำการบำรุงรักษา จากนั้นอัตราการเกิดความล้มเหลวก็จะลดลง โดยค่าที่ลดลงนั้น Jong-Fil Moon *et al.* (2006) กำหนดให้อัตราการเกิดความล้มเหลวลดลง ดังภาพที่ 7

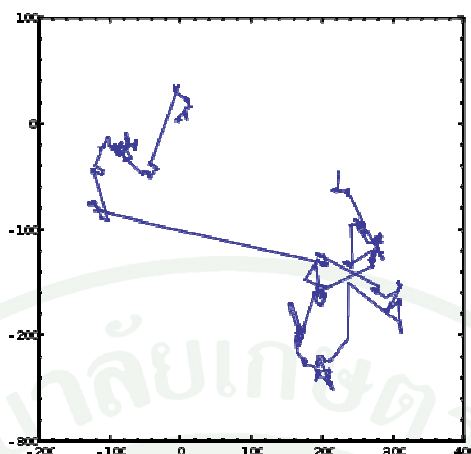


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวกับการบำรุงรักษาระบบ

3. การค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search, CS)

วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search Algorithm, CSA) ถูกนำเสนอในปี 2009 โดย Yang และ Deb เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีการนี้ได้แรงบันดาลใจจากกลยุทธ์การสืบพันธุ์ที่ก้าวร้าวของนกกาเหว่า เนื่องจากนกกาเหว่ามีความพิเศษในการขยายพันธุ์โดยการไม่สร้างรังและไม่ฟักไข่เอง แต่จะแอบไปวางไข่ในรังของนกอื่นแล้วให้กกไข่และฟักไข่ให้ ซึ่งเรียกว่า นกเจ้าของรัง (Host Bird) แต่ถ้านกเจ้าของรังรู้ว่าไข่ที่อยู่ในรังไม่ใช่ไข่ของมัน มันอาจจะโยนไข่ของนกกาเหว่าทิ้ง หรือทิ้งรังแล้วสร้างรังใหม่ที่อื่น โดยทั่วไปไข่ของนกกาเหว่ามักจะฟักเป็นตัวเร็วกว่าไข่ของนกเจ้าของรัง ด้วยเหตุนี้เมื่อลูกนกกาเหว่าฟักออกจากไข่ไม่นานนัก มันจะมีสัญชาตญาณที่จะขับไล่ไข่ของนกเจ้าของรังออกจากรังจนไข่ของนกเจ้าของรังตกลูกจกรังหมด เพื่อที่มันจะได้เป็นลูกนกเพียงตัวเดียว ซึ่งเป็นวิวัฒนาการในการลดโอกาสแพร่พันธุ์ของนกชนิดอื่นและกำจัดคู่แข่งในการแย่งอาหารไปในตัว

จากการศึกษาต่างๆ พบว่า พฤติกรรมการบินของสัตว์หลายชนิดมีระยะการเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอและไร้รูปแบบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Lévy Flights ตามภาพที่ 8 หรือแม้กระทั่งแสงก็สามารถเกี่ยวข้องกับลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Lévy Flights ได้เช่นกัน ดังนั้นการเคลื่อนที่แบบ Lévy Flights จึงนิยมนำมาใช้แก้ปัญหาการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 8 ตัวอย่างลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Lévy Flights

วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า ประกอบด้วย สมาชิกในรังหรือไข่ ซึ่งไข่แต่ละฟองใช้แทนคำตอบเดิม ไข่ของนกกาเหว่าเปรียบเสมือนคำตอบใหม่ ถ้าไข่ของนกกาเหว่ามีความคล้ายคลึงกับไข่ของนกเจ้าของรัง นั้นหมายความว่า มีโอกาสน้อยที่ไข่ของนกกาเหว่าจะถูกค้นพบและโยนทิ้งไป ดังนั้นคำตอบที่ดีที่สุดควรจะสัมพันธ์กับความแตกต่างของคำตอบ คำตอบใหม่ที่ดีกว่าจะมาแทนที่คำตอบเดิม เพื่อให้สามารถอธิบายวิธีการหาคำตอบใหม่ได้โดยง่าย จะสมมุติให้การวางไข่ของนกกาเหว่าวางไข่ครั้งละหนึ่งฟอง เมื่อมีการหาคำตอบใหม่ $x^{(t+1)}$ โดยมีการเคลื่อนที่แบบ Lévy Flights ตามสมการ (20)

$$x_i^{(t+1)} = x_i^t + \alpha \oplus \text{Lévy}(\lambda) \quad (20)$$

เมื่อ $\alpha > 0$ คือ ขนาดขั้นตอน (Step Size) ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของปัญหาที่สนใจ ส่วนใหญ่จะใช้ค่า $\alpha = 1$ ซึ่งสมการ (20) เป็นสมการสำหรับการสุ่มเดิน โดยทั่วไปการสุ่มเดิน เป็น Markov Chain ที่ตำแหน่งถัดไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งปัจจุบันและความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง โดยที่เครื่องหมาย $\oplus$ คือ Entry-wise Multiplications ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับวิธีการที่ใช้ในขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) แต่การเคลื่อนที่ของการสุ่มแบบ Lévy Flights นั้น จะมีประสิทธิภาพมากกว่าในการสำรวจพื้นที่การค้นหา ดังสมการ (21)

$$\text{Lévy}(\lambda) \sim u = t^{-\lambda}, (1 < \lambda \leq 3) \quad (21)$$

การสุ่มการเคลื่อนที่ของ Lévy Flights จะใช้วิธีการของ Mantegna มาช่วยในการสร้างตัวเลขสุ่ม โดยวิธีการของ Mantegna จะสร้างตัวเลขสุ่มตามการกระจายที่มีเสถียรภาพ ตามสมการ (22) และคำนวณการหาทางเดินถัดไป (step length, s) ตามสมการ (23) โดยที่ λ อยู่ในช่วง 0 ถึง 2

$${}^2\sigma_u = \left[\frac{\Gamma(1+\lambda) \cdot \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\lambda}{2}\right) \cdot \lambda \cdot 2^{\left(\frac{\lambda-1}{2}\right)}} \right]^{\frac{1}{\lambda}}, \sigma_v = 1 \quad (22)$$

$$s = \frac{u}{|v|^{\frac{1}{\lambda}}} \quad (23)$$

เมื่อ u และ v มีค่าตามสมการ (24) และ (25) ตามลำดับ คือ

$$u = \text{randn}[s] * \sigma_u \quad (24)$$

$$v = \text{randn}[s] * \sigma_v \quad (25)$$

เมื่อ $\text{randn}[s]$ คือ ฟังก์ชันการสุ่มหาค่าจำนวนเต็มจาก 1 ถึง s ซึ่งสามารถหาได้ดังสมการ (26) คือ

$$\text{stepsize} = 0.01 \cdot \text{step} \cdot (s - \text{xbest}) \quad (26)$$

เมื่อ xbest คือ ตำแหน่งก่อนหน้าที่ดีที่สุด

เพื่อให้เข้าใจง่ายในการอธิบายการค้นหาแบบนกกาเหว่า จะใช้กฎอุดมคติ 3 ข้อ (Yang and Deb, 2009) คือ

1. นกกาเหว่าจะวางไข่ 1 ฟองต่อครั้ง และจะทิ้งไข่ของมันไว้ในรังของนกเจ้าของรังที่เลือกจากการสุ่ม
2. รังที่ดีที่สุดที่มีไข่อุณหภูมิสูง (คำตอบของปัญหา) จะดำเนินไปยังรุ่นถัดไปได้
3. จำนวนรังของนกเจ้าของรังที่ใช้ได้ (n) ได้ถูกกำหนดไว้แล้ว และไข่ที่วางโดยนกกาเหว่าจะถูกค้นพบโดยนกเจ้าของรัง ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ($p_a \in [0,1]$) ในกรณีนี้นกเจ้าของรังสามารถโยนไข่นกกาเหว่าทิ้งไปหรือทิ้งรังแล้วสร้างรังใหม่ได้อีก

จากกฎทั้งสามข้อสามารถสรุปขั้นตอนพื้นฐานของการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search) ในอุดมคติได้ดังนี้ (Civicioglu and Besdok, 2011; กิตติพงษ์ และคณะ, 2555)

ขั้นตอนที่ 1: กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x)$, $x = (x_1, \dots, x_d)^T$ และสร้างสมาชิกเริ่มต้นของรัง n โดยเป็นจำนวนรังเริ่มต้น x_i ($i = 1, 2, \dots, n$)

ขั้นตอนที่ 2: ตรวจสอบว่าครบจำนวนรอบที่กำหนด หรือถึงเกณฑ์ที่ต้องหยุดหรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำขั้นตอนที่ 7 แต่ถ้าไม่ใช่ให้ทำการปรับค่ารังใหม่จากสูตรการเคลื่อนที่แบบ Lévy Flights จากนั้นทำการประเมินคุณภาพของรังจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F_i หลังจากนั้นนำรังเก่ามาประเมินคุณภาพของรังด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ F_j

ขั้นตอนที่ 3: นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบ ถ้าค่า F_i มีค่ามากกว่า F_j ให้ทำการแทนที่รัง j เป็นคำตอบใหม่ (กรณีหาค่าต่ำสุด)

ขั้นตอนที่ 4: ค้นหาใหม่อีกครั้ง โดยให้การค้นพบครั้งใหม่นั้นจะต้องมีค่าความน่าจะเป็นมากกว่าค่า p_a ที่กำหนดไว้ สำหรับรังที่ไม่ผ่านค่า p_a ให้ทำการทิ้งรัง แล้วสุ่มเลือกค่ารังใหม่

ขั้นตอนที่ 5: เก็บคำตอบที่ดีที่สุด หรือรังที่มีคุณภาพ

ขั้นตอนที่ 6: เรียงลำดับผลลัพธ์ที่ได้ จากนั้นกลับไปทำขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 7: ผลลัพธ์สุดท้าย จะได้คำตอบและรังที่ดีที่สุดด้วยขั้นตอนวิธีค้นหาแบบนกกาเหว่า

จากขั้นตอนข้างต้นสามารถอธิบายพื้นฐานของวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่าสรุปด้วยคำสั่งเทียม (pseudo code) แสดงได้ตามภาพที่ 9 และสรุปเป็นแผนผังขั้นตอนพื้นฐานของการค้นหาแบบนกกาเหว่าได้ตามภาพที่ 10

Cuckoo Search via Lévy Flights

begin

Objective function $f(\mathbf{x})$, $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_d)^T$

Generate initial population of

n host nests $\mathbf{x}_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$)

while ($t < \text{MaxGeneration}$) or (stop criterion)

Get a cuckoo randomly by Lévy flights

evaluate its quality/fitness F_i

Choose a nest among n (say, j) randomly

if ($F_i > F_j$),

replace j by the new solution;

end

A fraction (p_a) of worse nests

are abandoned and new ones are built;

Keep the best solutions

(or nests with quality solutions);

Rank the solutions and find the current best

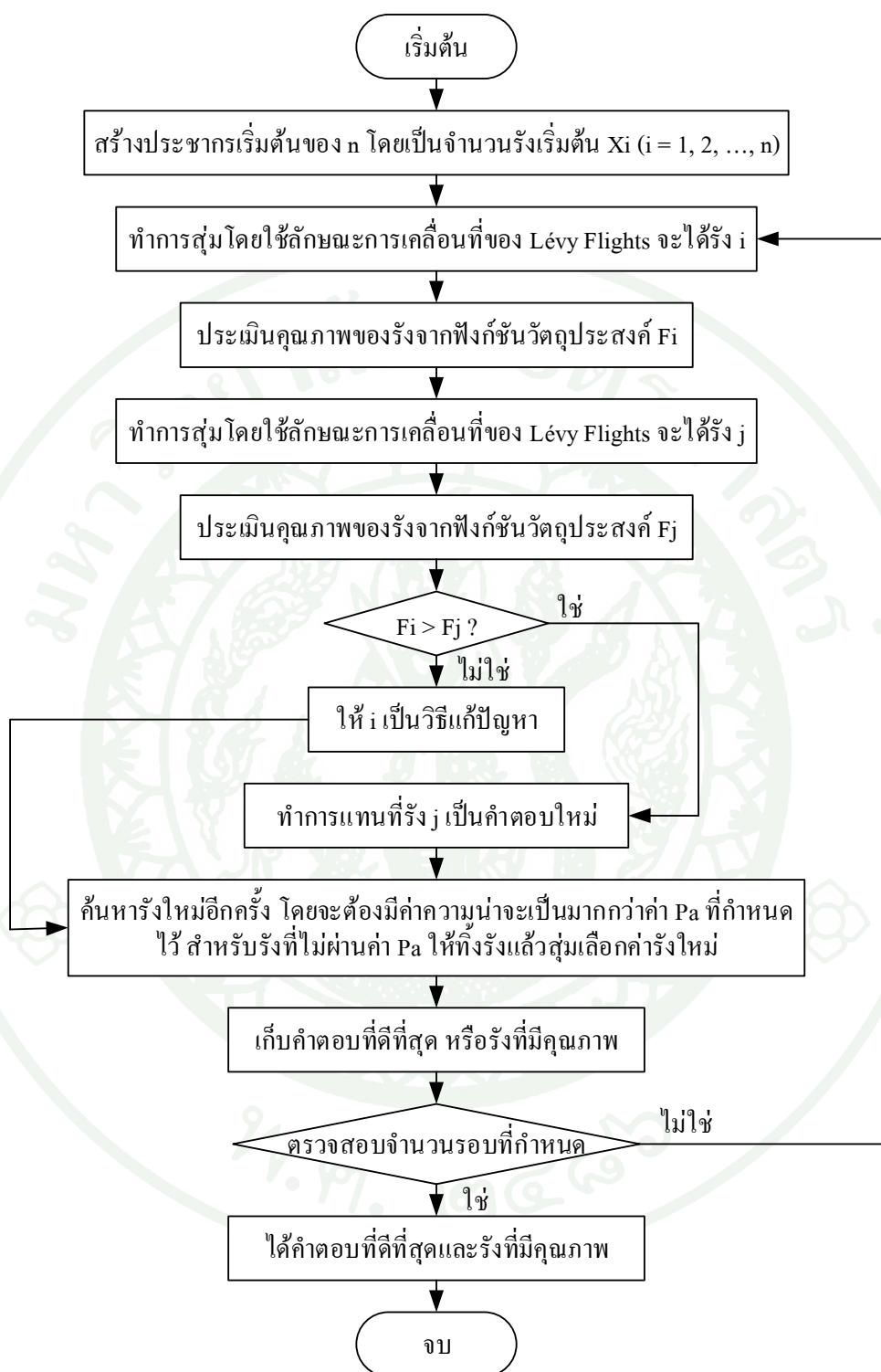
end while

Postprocess results and visualization

end

ภาพที่ 9 การเขียนคำสั่งเทียม (Pseudo code) ของการค้นหาลำดับแบบนกกาเหว่า

ที่มา: Yang and Deb (2009)

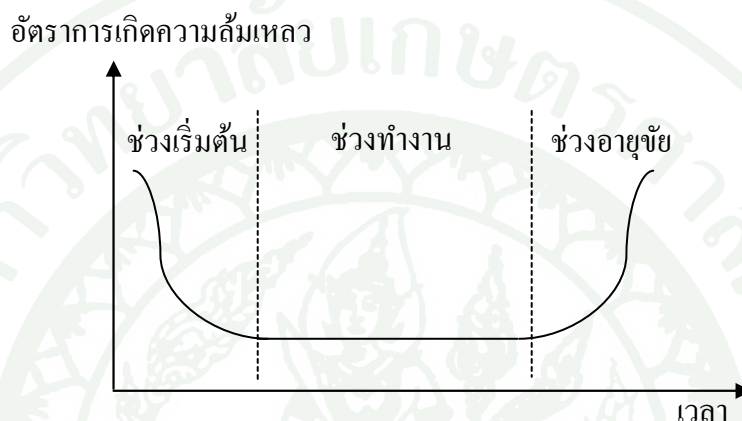


ภาพที่ 10 แผนผังขั้นตอนพื้นฐานของการค้นหาแบบนกกาเหว่า

ที่มา: จูติพร (2556)

อายุการใช้งานและอัตราการเกิดความล้มเหลว

ชำนาญ (2549) อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าตลอดอายุขัยของอุปกรณ์ได้แสดงไว้ในภาพที่ 11 โดยตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์สามารถแบ่งอัตราการเกิดความล้มเหลวเป็นสามช่วง คือ ช่วงเริ่มต้น ช่วงทำงานและช่วงอายุขัย



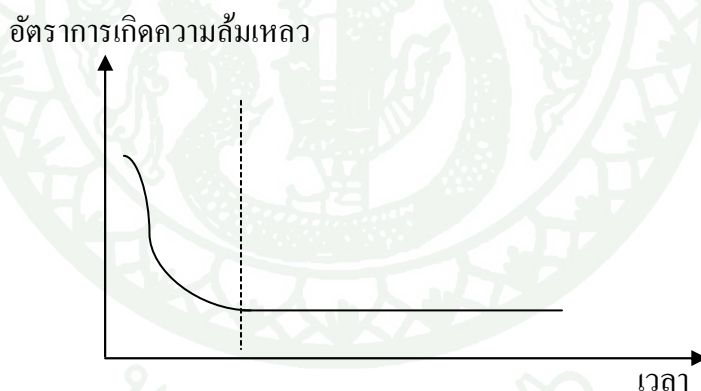
ภาพที่ 11 อัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์หรือระบบตามเวลา

อัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์ดังแสดงในภาพที่ 11 เรียกว่า กราฟอ่างอาบน้ำ (Bathtub Curve) เนื่องจากมีรูปร่างคล้ายอ่างอาบน้ำ

จากกราฟอัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์ในภาพที่ 11 ช่วงเริ่มต้น (Infant Period) มีอัตราการเกิดความล้มเหลวสูงเนื่องจากการติดตั้งใหม่ และเริ่มมีการใช้งานโดยที่คนงานหรือช่างยังเรียนรู้การใช้งานได้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งระยะของช่วงเวลาเริ่มต้นนั้นจะมีระยะสั้นหรือยาวนานอยู่กับความสลับซับซ้อนของอุปกรณ์ ถ้าอุปกรณ์มีความซับซ้อนมากและต้องการความชำนาญในการใช้งานมากก็จะมีระยะเวลาช่วงเริ่มต้นนาน ถ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานง่ายโดยไม่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้มานานระยะเวลาคงเริ่มต้นก็สั้น ในช่วงเริ่มต้นมีอัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์สูง นั่นคือมีการใช้งานแต่ละช่วงสั้นก่อนเสียและส่งซ่อม

อัตราการเกิดความล้มเหลวในช่วงเริ่มต้นมีค่าสูงและลดลงจนมีค่าคงที่ เข้าสู่ช่วงทำงาน (Working Period) ช่วงเวลาดังกล่าวมีอัตราการเกิดความล้มเหลวคงที่ λ_1 ซึ่งอัตราการเกิดความล้มเหลวคงที่เป็นการกระจายของเวลาทำงานก่อนเสียแต่ละครั้งเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution) และช่วงทำงานนี้ยาวนานอาจเป็นเวลาหลายสิบปีสำหรับอุปกรณ์บางชนิด เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีคุณภาพดีมาก ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวดังกล่าวในช่วงทำงานก็มีค่าคงที่ต่ำ ช่วงทำงานดังกล่าวถ้าเป็นอุปกรณ์ทางกลที่มีการสึกหรออัตราการเกิดความล้มเหลวดังกล่าวจะมีค่าไม่คงที่

เมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานไปนานๆ ก็เสียหายได้ง่ายขึ้น คือ มีอัตราการเกิดความล้มเหลวสูงขึ้นตามเวลา ช่วงเวลาดังกล่าว คือ ช่วงอายุขัย (Aging Period) และช่วงดังกล่าวอาจเป็นช่วงที่ต้องเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าใหม่ถ้าอุปกรณ์ดังกล่าวเสียหายแล้วจะทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องเป็นวงกว้างหรือเสียหายมาก แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าปัจจุบันอาจไม่มีช่วงอายุขัย คือมีแต่ช่วงเริ่มต้นและช่วงทำงาน เมื่ออุปกรณ์เสียหลังจากใช้งานไปนานๆ ก็ไม่สามารถซ่อมต่อไปได้อีก จึงมีเพียงสองช่วงเวลาดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 อัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์ไฟฟ้าในปัจจุบัน

การบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า

ปรารธนา (2551) การบำรุงรักษา คือ การดำเนินกิจกรรมต่างๆ ทั้งหมดที่กระทำเพื่อให้ระบบมีสภาพดี หรือทำให้ระบบกลับคืนสู่สภาพเดิมตามที่กำหนด

วัตถุประสงค์ของการทำการบำรุงรักษา สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์และระบบ
2. ลดความเสียหายหรือผลกระทบอันเนื่องมาจากความล้มเหลวของระบบ
3. คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งานอุปกรณ์เป็นสำคัญ

รูปแบบการบำรุงรักษาสามารถแบ่งตามกิจกรรมที่ดำเนินการได้เพื่อให้ระบบทำงานได้ตามกำหนด ดังนี้

1. การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance – IM)
2. การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance – PM)
3. การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance – CM)

1.การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง หมายถึง การทำกิจกรรมบำรุงรักษาโดยปรับปรุงหรือดัดแปลงให้ระบบไฟฟ้ามีสภาพดีขึ้น หรือคุณภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าดีขึ้น ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น มักเป็นการปรับปรุงครั้งเดียว วัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาแบบนี้มี 2 แบบ คือ

1.1 การปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย (Design Out : DO)

การปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายเป็นการออกแบบระบบเพื่อขจัดปัญหา ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาแบบแรกที่ต้องพิจารณาว่าสามารถทำได้หรือไม่ และคุ้มกับการลงทุนหรือไม่ เพราะจะทำให้ความต้องการของการบำรุงรักษาลดลงและสมรรถนะความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพของระบบจะสูงขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงชนิดสายจากสายเปลือยเป็นสาย SAC (Spaced Aerial

Cable) หรือการเปลี่ยนจากสายเปลือยเป็นสายใต้ดิน ในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดไฟฟ้าช็อตเนื่องจากต้นไม้หรือเนื่องจากมีวัตถุมาแตะสายเปลือยได้ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ไม่เกิดกระแสไฟฟ้าช็อตหรือเกิดน้อยลง

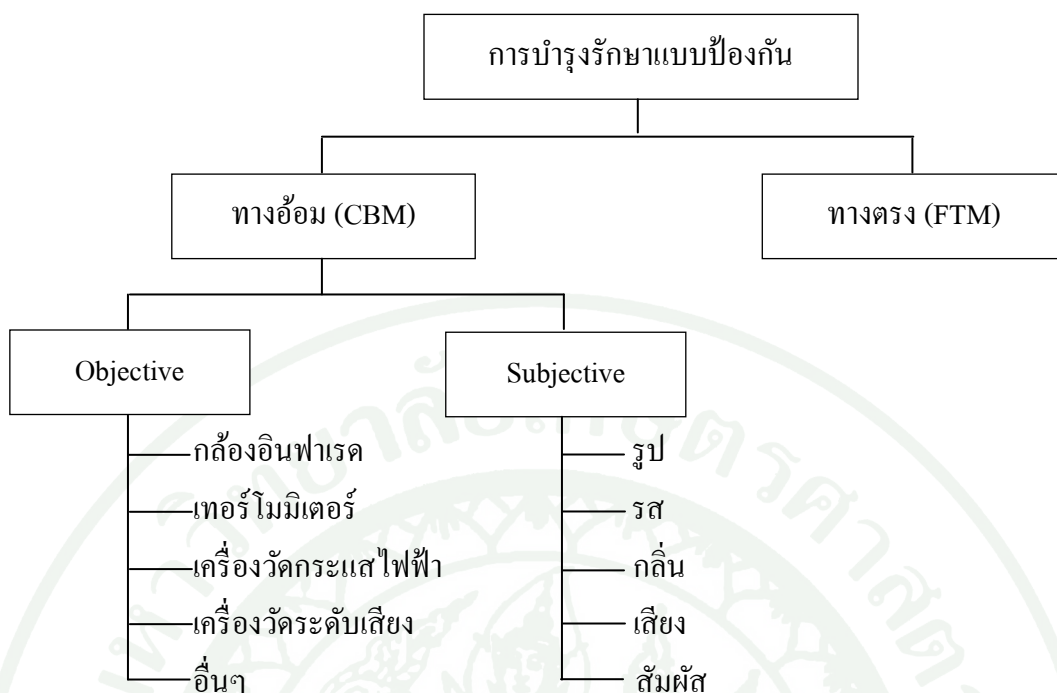
1.2 การปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน (Life Time Extension : LTE)

การปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน เป็นการปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์หรือระบบให้มากที่สุด การปรับปรุงดังกล่าวเป็นการบำรุงรักษาอันดับสองรองจากการปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย ต้องพิจารณาว่าสามารถทำได้หรือไม่ ถ้าหากไม่สามารถทำการบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายได้ (Design Out)

การบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานเป็นการช่วยลดจำนวนครั้งเสียหายของอุปกรณ์ให้น้อยลง การบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานด้านไฟฟ้าที่ใช้กันมาก ได้แก่ การใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่เต็มกำลัง เช่น การใช้โหลดของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยไม่ให้เกิน 80% ของพิกัดหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อยืดอายุการใช้งาน

2. การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบป้องกัน หมายถึง การทำกิจกรรมบำรุงรักษาเพื่อป้องกัน หรือลดการเกิดความเสียหายของระบบ หรือก่อนที่ความเสียหายนั้นจะลุกลามต่อไป ภาพที่ 13 แสดงประเภทของการบำรุงรักษาแบบป้องกัน ซึ่งแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้



ภาพที่ 13 รูปแบบการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

2.1 การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม (Indirect Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อมเป็นการบำรุงรักษาเพื่อค้นหาจุดขัดข้องที่เพิ่งจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในระบบก่อนที่จะทำให้ระบบเสียหายหรือกระทบต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งจะใช้วิธีการตรวจวัดสภาพของอุปกรณ์ เพื่อให้ทราบถึงสภาพการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ ซึ่งมักจะเรียกว่า “การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance ; CBM)” การบำรุงรักษาแบบทางอ้อมนั้นจะไม่ส่งผลโดยตรงต่ออุปกรณ์ แต่จะนำไปใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาแบบป้องกันต่อไป การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

ก) Objective คือ การใช้เครื่องมือในการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น การใช้กล้องส่องความร้อน เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

ข) Subjective คือ การใช้สัมผัสทั้งห้า ได้แก่ รูป รส กลิ่น เสียง และการสัมผัส ในการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีนี้ต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ทำการตรวจสอบ

2.2 การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง (Direct Preventive Maintenance)

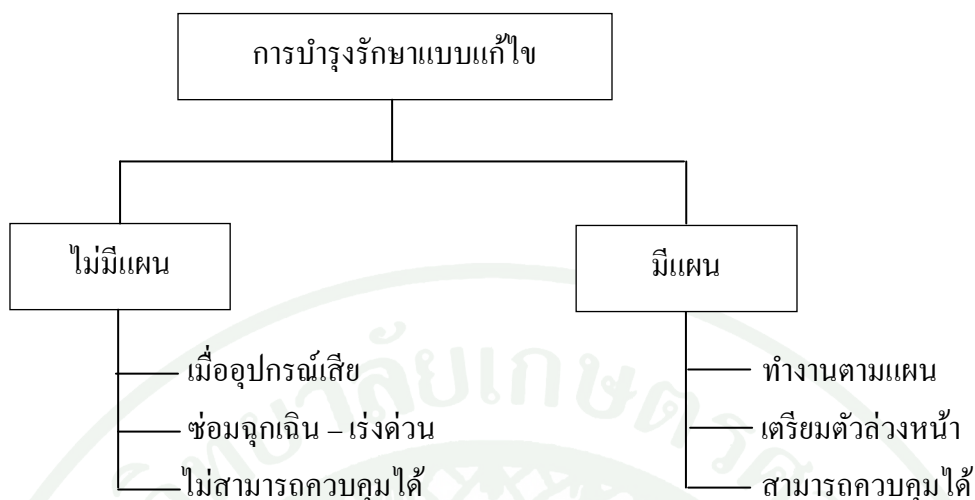
การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงเป็นการบำรุงรักษาเพื่อมิให้อุปกรณ์ในระบบเกิดความเสียหาย โดยจะส่งผลโดยตรงกับตัวอุปกรณ์ที่ได้ทำการบำรุงรักษา เช่น การเปลี่ยนอะไหล่ของอุปกรณ์ในระบบตามกำหนดเวลา การทำความสะอาดลูกถ้วย เป็นต้น

การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงมักจะใช้เวลาในการควบคุมการทำการกิจกรรม ซึ่งอาจเป็นรอบระยะเวลาตามปฏิทิน จำนวนชั่วโมงการใช้งาน หรือจำนวนครั้งของการทำงาน เป็นต้น ทั้งนี้มักจะเรียกการบำรุงรักษาทั้งหมดที่ถูกควบคุมด้วยเวลาหรือจำนวนครั้งที่แน่นอนว่า “การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance; FTM)”

การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดีขึ้นเพราะได้มีการเปลี่ยนแปลงอะไหล่หรืออุปกรณ์ย่อยเป็นระยะตามกำหนด การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงเหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่สามารถตรวจได้ด้วยการตรวจสอบหรืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบอาจมีราคาสูงมากจนไปทำให้ต้องหันมาใช้ในการบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง

3. การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไข หมายถึง การทำการกิจกรรมบำรุงรักษาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ซึ่งเมื่อก่อนอาจเรียกกันว่า การบำรุงรักษาแบบฉุกเฉิน (Emergency Maintenance) การบำรุงรักษาเมื่อเสียหาย (Breakdown Maintenance) ซึ่งอาจไม่ถูกต้องนัก เพราะการบำรุงรักษาแบบแก้ไข ไม่จำเป็นต้องเป็นการบำรุงรักษาเมื่อเสียหายหรือการบำรุงรักษาแบบฉุกเฉินเท่านั้น เนื่องจากบางครั้งอาจจะเป็นการแก้ไขสิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ก่อนที่จะลุกลามมากไปจนเสียหายฉุกเฉิน การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบ่งเป็น 2 แบบ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 รูปแบบการบำรุงรักษาแบบแก้ไข

3.1 การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบไม่มีแผน (Unplanned corrective maintenance)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบไม่มีแผนคือ การการบำรุงรักษาที่ไม่สามารถวางแผนล่วงหน้า หรือเวลาที่ทราบล่วงหน้าเพื่อเตรียมการบำรุงรักษาน้อยมาก จนไม่สามารถวางแผนเกี่ยวกับการเตรียมจำนวนคน เอกสาร อุปกรณ์และอะไหล่ได้ก่อนที่จะเริ่มทำงาน ซึ่งการบำรุงรักษาแบบนี้จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงมาก และอาจต้องหยุดจ่ายไฟฟ้าอย่างฉุกเฉิน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟจำนวนมาก และถือว่า การสูญเสียเนื่องจากการจ่ายไฟไม่ได้นี้เป็นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางอ้อม

3.2 การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบมีแผน (Planned corrective maintenance)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบมีแผนเป็นการบำรุงรักษาที่ได้มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า เมื่อทราบว่าระบบมีปัญหาและอาจเกิดการขัดข้องได้ถ้าไม่ได้รับการแก้ไข เป็นผลจากการดำเนินการบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม ทำให้ทราบว่าอุปกรณ์และระบบส่วนใดกำลังจะเสียหาย ทำให้สามารถเตรียมเครื่องมือและอื่นๆ ที่ต้องใช้ในการซ่อม ทำให้ลดเวลาในการรอและเวลาในการซ่อมลง ซึ่งจะช่วยลดความสูญเสียเนื่องจากการจ่ายไฟไม่ได้

อุปกรณ์และวิธีการ

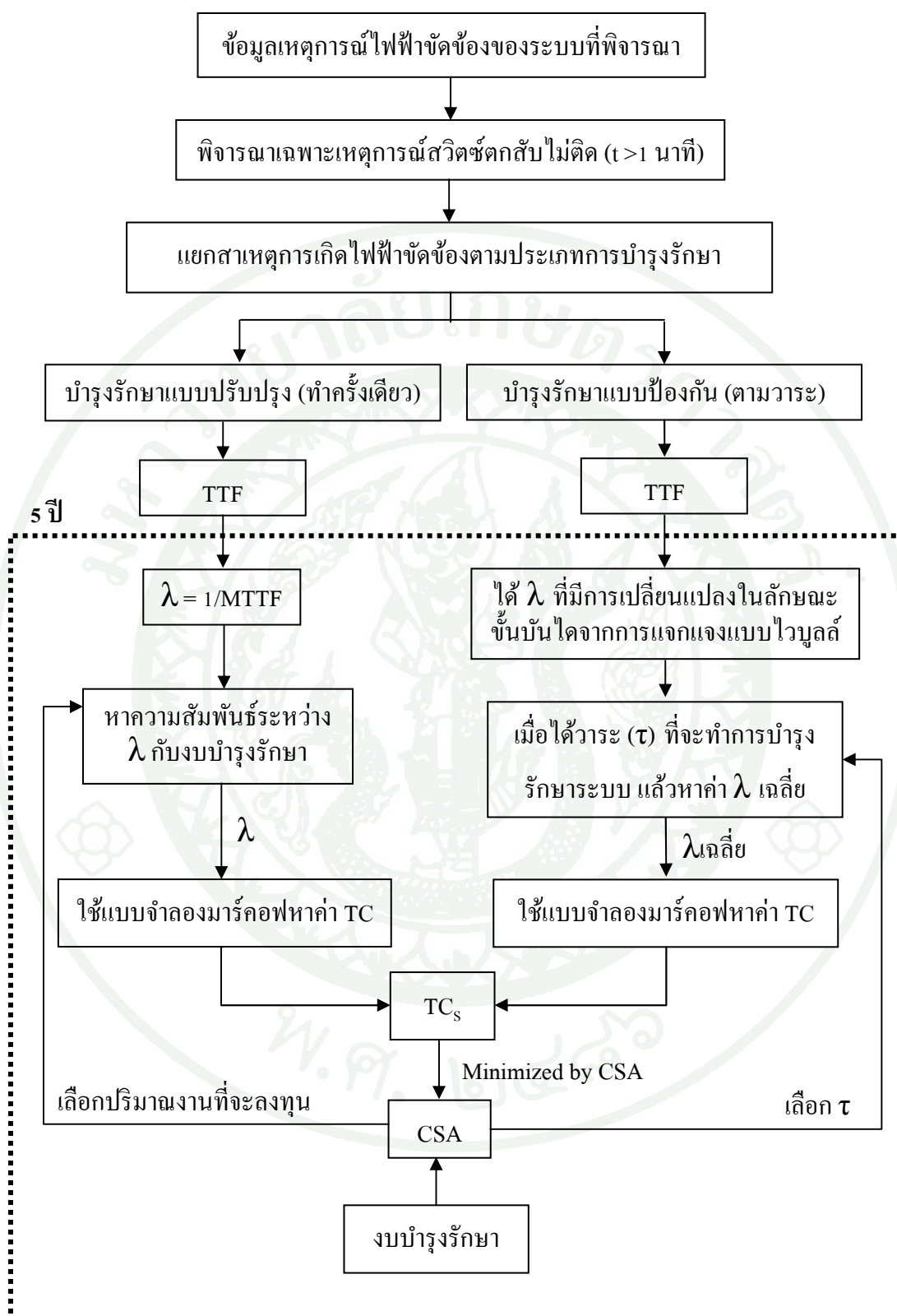
อุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
3. โปรแกรม Microsoft Office 2007 (Words, Excel, PowerPoint)
4. โปรแกรม MATLAB 8.0
5. เครื่อง Printer และอื่นๆ

วิธีการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้องของสถานีไฟฟ้าย่อยแสนแสน ในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน โดยนำข้อมูลต่างๆ มาผ่านกระบวนการวิเคราะห์เพื่อวางแผนทำการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายที่รับไฟจากสถานีไฟฟ้าย่อยแห่งนี้ ว่าควรทำการบำรุงรักษาแบบต่างๆ ด้วยความถี่เท่าไร ภายใต้งบบำรุงรักษาที่จำกัด จึงจะส่งผลให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายในกรอบเวลา ที่ทำการศึกษาในช่วงเวลา 5 ปี โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากภาพที่ 15 การดำเนินการเริ่มจากเก็บข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของระบบที่พิจารณา ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้คือ ข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องภายในสถานีไฟฟ้าย่อยแสนแสน การไฟฟ้า นครหลวง เขตสามเสน แล้วพิจารณาเฉพาะเหตุการณ์ที่เกิดไฟดับตั้งแต่ 1 นาทีขึ้นไป นำข้อมูลที่ได้มาแยกประเภทสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง โดยแบ่งตามประเภทการบำรุงรักษา คือบำรุงรักษาแบบปรับปรุง และบำรุงรักษาแบบป้องกัน แล้วนำข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่แยกประเภทตามรูปแบบการบำรุงรักษามาหาระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำงานก่อนจะเสีย (TTF) เพื่อนำค่า TTF ไปหาค่า อัตราการเกิดความล้มเหลว (λ) ซึ่งการบำรุงรักษาแต่ละวิธี สามารถหาค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวได้ ดังนี้

1. บำรุงรักษาแบบปรับปรุง คือ ทำการปรับปรุงระบบเพียงครั้งเดียว โดยพิจารณาว่าทั้งบการบำรุงรักษาจำนวนต่างๆ กัน ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวจะเป็นอย่างไร ภายใต้สมมติฐานว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวกับงบบำรุงรักษาเป็นแบบเชิงเส้น (Linear Function) โดยความสัมพันธ์นี้สามารถหาได้จาก เมื่อทำการบำรุงรักษาอย่างเต็มที่ ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวจะมีค่าน้อยเทียบเท่าค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวเมื่อระบบเริ่มติดตั้ง ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวเมื่อระบบเริ่มติดตั้งพิจารณาจากค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวที่ได้จากการแจกแจงแบบไวบูลล์ที่เวลา 1 เดือนแรก และในขณะเดียวกันเมื่อไม่ทำกิจกรรมบำรุงรักษาประเภทนี้เลย ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวจะมีค่าเท่ากับส่วนกลับของระยะเวลาที่ระบบทำงานก่อนจะเสียเฉลี่ย จากนั้นนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟเส้นตรงที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวและงบบำรุงรักษาที่ค่าต่างๆ

2. บำรุงรักษาแบบป้องกัน คือ ทำการบำรุงรักษาตามวาระ ซึ่งมีผลต่อค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวที่ได้จากการแจกแจงแบบไวบูลล์ ดังภาพที่ 7 กล่าวคือ เมื่อไม่มีการทำการบำรุงรักษาระบบเลย ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันขั้นบันได แต่เมื่อมีการทำการบำรุงรักษา ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวจะลดลง โดยค่าที่จะนำไปใช้เป็นค่าเฉลี่ยภายในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา

เมื่อได้ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวของแต่ละวิธีการบำรุงรักษาแล้ว นำค่าที่ได้ไปหาค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อบำรุงรักษาด้วยกิจกรรมหนึ่งๆ (Total Cost : TC) จากแบบจำลองของมาร์คอฟของกิจกรรมนั้น แล้วจึงนำค่าใช้จ่ายรวมของแต่ละกิจกรรมการบำรุงรักษานี้มารวมกัน จะได้เป็นค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อย (Total Cost Unit Substation: TC_s)

สำหรับกรณีที่มีงบบำรุงรักษาจำนวนจำกัด และต้องการทราบว่าควรจัดสรรวงเงินนี้ให้กิจกรรมบำรุงรักษาแต่ละประเภทเป็นจำนวนเท่าไร เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อยมีค่าน้อยที่สุด วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีของ CSA ตามขั้นตอนในภาพที่ 15 โดย CSA จะทำหน้าที่หาค่าใช้จ่ายรวมในระบบที่น้อยที่สุด จากการค้นหาวาระและปริมาณงานในการทำการบำรุงรักษาแต่ละกิจกรรม ภายใต้งบบำรุงรักษาจำกัด

1. การเตรียมข้อมูล

1.1 สถิติไฟฟ้าขัดข้อง

ข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้องของระบบย้อนหลังตามระยะเวลาที่กำหนด ในที่นี้ใช้ระยะเวลา 5 ปี และระบบที่ศึกษาคือ สถานีย่อยแสนแสน ภายในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง เขตสามแสน โดยพิจารณาเฉพาะข้อมูลที่มีระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องตั้งแต่ 1 นาทีขึ้นไป จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถิติไฟฟ้าขัดข้องภายในสถานีไฟฟ้าย่อยแสนแสน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 – 2556

Date	Feeder	From	to	Minutes	Cause
12/2/2552	SS-421	8:36	8:38	2	ไม่ทราบสาเหตุ
16/2/2552	SS-421	9:26	9:28	2	กระรอก, กระแต, หนู
11/3/2552	SS-428	7:06	7:08	2	ไม่ทราบสาเหตุ
20/3/2552	SS-424	15:48	15:50	2	ไม่ทราบสาเหตุ
31/3/2552	SS-415	18:50	19:19	29	กิ่งไม้หัก
9/5/2552	SS-415	22:29	22:31	2	ไม่ทราบสาเหตุ
9/5/2552	SS-415	23:04	23:06	2	ไม่ทราบสาเหตุ
13/6/2552	SS-415	6:49	6:51	2	นก
8/7/2552	SS-415	14:38	14:40	2	กิ่งไม้
27/7/2552	SS-421	6:51	6:53	2	กระรอก, กระแต, หนู
22/8/2552	SS-415	7:29	7:31	2	กระรอก, กระแต, หนู
29/8/2552	SS-422	14:44	14:46	2	นก
30/8/2552	SS-421	21:57	21:59	2	กิ่งไม้หัก

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Date	Feeder	From	to	Minutes	Cause
12/9/2552	SS-431	18:04	19:46	102	สายไฟฟ้าขาด
5/10/2552	SS-422	12:08	12:10	2	ฟิวส์และอุปกรณ์ร่วม
25/10/2552	SS-421	7:04	7:09	5	กระรอก, กระแต, หนู
27/10/2552	SS-421	22:01	22:04	3	กิ่งไม้
2/11/2552	SS-421	18:28	18:31	3	กระรอก, กระแต, หนู
26/2/2553	SS-415	15:56	15:58	2	สาเหตุจากลูกค้า
7/3/2553	SS-424	18:52	18:55	3	สวิตช์ตกขณะ Switching
17/3/2553	SS-422	11:28	11:30	2	ฟิวส์และอุปกรณ์ร่วม
1/5/2553	SS-415	16:39	16:41	2	กิ่งไม้
5/6/2553	SS-422	16:38	16:40	2	ฟิวส์และอุปกรณ์ร่วม
3/8/2553	SS-428	2:10	2:24	14	งู
5/8/2553	SS-428	4:11	4:13	2	สาเหตุจากลูกค้า
13/8/2553	SS-421	12:39	13:02	23	ไฟไหม้ (ปลดสวิตช์)
24/9/2553	SS-411	14:18	14:39	21	สายไฟฟ้าขาด
16/12/2553	SS-424	14:08	14:37	29	สายไฟฟ้าขาด
15/6/2554	SS-415	18:48	19:08	20	กิ่งไม้หัก
4/8/2554	SS-424	10:05	10:07	2	อื่น ๆ (ดับไฟฉุกเฉิน (โดยไม่มี W/P))
12/8/2554	SS-428	7:23	7:26	3	ไม่ทราบสาเหตุ
27/8/2554	SS-428	8:16	8:24	8	ไม่ทราบสาเหตุ
19/10/2554	SS-428	19:08	19:59	51	สายไฟฟ้าขาด
24/10/2554	SS-416	11:12	11:33	21	บุคคลภายนอก
10/11/2554	SS-428	12:45	13:24	39	สายชำรุด
12/12/2554	SS-431	18:41	19:14	33	ไฟไหม้ (ปลดสวิตช์)
9/1/2555	SS-428	19:14	19:16	2	กระรอก, กระแต, หนู
17/1/2555	SS-431	18:08	18:18	10	ไฟไหม้ (ปลดสวิตช์)
25/1/2555	SS-417	20:03	20:38	35	กิ่งไม้
10/2/2555	SS-411	16:00	16:10	10	กิ่งไม้หัก

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Date	Feeder	From	to	Minutes	Cause
6/3/2555	SS-416	5:08	5:16	8	สายไฟฟ้าขาด
6/3/2555	SS-416	5:47	6:21	34	ทำงานซ่อมสาย
20/3/2555	SS-423	9:16	9:24	8	ไม่ทราบสาเหตุ
24/3/2555	SS-428	15:23	16:40	77	กระรอก, กระแต, หนู
31/3/2555	SS-425	17:27	17:29	2	ทำงานเกี่ยวกับฟิวส์
17/5/2555	SS-411	12:30	12:34	4	ไม่ทราบสาเหตุ
21/6/2555	SS-411	10:11	10:52	41	สายไฟฟ้าขาด
6/7/2555	SS-415	17:56	18:13	17	งู
15/8/2555	SS-422	17:39	17:41	2	กิ่งไม้
28/8/2555	SS-424	4:17	4:32	15	ไฟไหม้ (ปลดสวิตช์)
10/9/2555	SS-428	11:30	11:41	11	สายไฟฟ้าขาด
10/9/2555	SS-428	11:35	11:41	6	สายไฟฟ้าขาด
20/9/2555	SS-422	17:59	18:44	45	ต้นไม้ล้ม
7/1/2556	SS-417	11:23	11:35	12	ทำงานเกี่ยวกับใบมีด
15/3/2556	SS-411	15:24	18:18	174	อื่น ๆ (สายอากาศ)
15/3/2556	SS-411	12:26	13:10	44	หม้อแปลงแรงดัน
15/3/2556	SS-423	15:30	18:46	196	มิเตอร์แรงสูง
11/4/2556	SS-411	14:24	14:31	7	ไม่ทราบสาเหตุ
12/4/2556	SS-415	10:25	10:35	10	กิ่งไม้หัก
30/5/2556	SS-424	17:36	18:16	40	โหลดฝาก
30/5/2556	SS-424	19:54	19:58	4	สวิตช์ตกขณะ Switching
25/9/2556	SS-415	6:27	6:36	9	ไม่ทราบสาเหตุ
2/10/2556	SS-415	18:46	19:51	65	กิ่งไม้หัก
14/11/2556	SS-421	20:20	20:29	9	ไม่ทราบสาเหตุ
16/11/2556	SS-421	5:07	5:09	2	ไม่ทราบสาเหตุ

จากตารางที่ 2 วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ไฟฟ้าขัดข้อง โดยพิจารณาว่าสาเหตุที่ทำให้ไฟฟ้าขัดข้องนั้น สามารถทำการบำรุงรักษาได้ด้วยวิธีใด หรือถ้าหากเกิดจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถเลือกวิธีบำรุงรักษาได้ จะไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจากตารางที่ 2 สามารถจำแนกสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้องกับกิจกรรมบำรุงรักษาได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประเภทของสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้องกับกิจกรรมบำรุงรักษา

สาเหตุ	การบำรุงรักษา	ป้องกัน		ปรับปรุง	อื่นๆ
		ตัดต้นไม้	ตรวจสอบสาย ป้อน	ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part	
แมว				✓	
โหลดฝาก					✓
ไฟไหม้ (ปลดสวิตช์)					✓
ไฟไหม้ (สวิตช์ตัดอัตโนมัติ)					✓
ไม้คอน			✓		
ไม้ทรานสาเหตุ					✓
กระรอก, กระแต, หนู				✓	
กั๊บกั๊บกไฟฟ้า			✓		
กิ่งไม้		✓			
กิ่งไม้หัก		✓			
ผู้				✓	
ต้นไม้ล้ม		✓			
ทำงานเกี่ยวกับใบมีด					✓
ทำงานเกี่ยวกับฟิวส์					✓
ทำงานซ่อมสาย					✓
นก				✓	
บุคคลภายนอก					✓
ปลดวัสดุแปลกปลอมจากสาย				✓	
ป้ายโฆษณา					✓

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สาเหตุ	การบำรุงรักษา	ป้องกัน		ปรับปรุง	อื่นๆ
		ตัดต้นไม้	ตรวจสอบสายป้อน	ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part	
พนักงานการไฟฟ้าเขต					✓
พอลต์ในสายป้อนโหลดรวม					✓
ฟิวส์และอุปกรณ์ร่วม			✓		
มิเตอร์แรงสูง			✓		
รถขุดดิน					✓
สวิตช์ตกขณะ Switching					✓
สวิตช์ใบมีด			✓		
สาเหตุจากลูกค้า					✓
สายใต้ดินชำรุด			✓		
สายไฟฟ้าขาด			✓		
สายชำรุด			✓		
สายชำรุด			✓		
สายพันกันหรือแตะกัน			✓		
หม้อแปลง			✓		
หม้อแปลงแรงดัน			✓		
หม้อแปลงกระแส			✓		
อื่นๆ (ไฟไหม้)					✓
อื่นๆ					✓
(ดับไฟฉุกเฉิน ไม่มี W/P)					
อื่นๆ (สายอากาศ)			✓		

จากตารางที่ 3 กำหนดให้ กิจกรรมตัดต้นไม้ รหัส MC_{1A} กิจกรรมตรวจสอบสายป้อน รหัส MC_{1B} และกิจกรรมติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part รหัส MC_{1C}

1.2 ข้อมูลอื่นๆ

ข้อมูลอื่นๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อระบบอยู่ในสถานะต่างๆ จะได้ข้อมูลตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์

ลำดับ	ข้อมูล	ค่าที่ใช้
1	กำลังไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าย่อยจ่ายได้	จากข้อมูลจริง
2	IER ของการไฟฟ้านครหลวง	จากข้อมูลจริง
3	ค่าใช้จ่ายในการทำกิจกรรมต่างๆ ของ กฟน.	เฉลี่ยจากข้อมูลจริง
4	ราคาค่าไฟต่อหน่วย	จากข้อมูลจริง
5	ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าย่อย	ข้อมูลสถิติย้อนหลัง
6	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมเฉลี่ย	เฉลี่ยจากข้อมูลย้อนหลัง

2. การดำเนินการ

การดำเนินการประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

2.1 หาค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวของระบบ

การหาค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวของระบบ สามารถแยกหาได้ตามวิธีการบำรุงรักษา ดังนี้

ก) การบำรุงรักษาแบบป้องกัน คือ ทำการบำรุงรักษาตามวาระด้วยความถี่ต่างๆ เช่น ทำการบำรุงรักษาทุกๆ 2 เดือน หรือ ทุกๆ 3 เดือน เป็นต้น ได้แก่ โดยให้นำสถิติไฟฟ้าข้อข้องมาหาระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำงานเฉลี่ยก่อนที่อุปกรณ์จะเสีย (MTTF) แล้วนำค่าที่ได้ไปหาอัตราการเกิดความล้มเหลวโดยใช้การแจกแจงแบบไวบูลล์โดยหาค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบไวบูลล์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ตามคำสั่งดังภาพที่ 16

```
x=[...ข้อมูล uptime...];
parameter = wblfit(x);
parameter(1) % alpha
parameter(2) % Beta
```

ภาพที่ 16 คำสั่งในการหาค่าพารามิเตอร์ การแจกแจงแบบไวบูลล์

สถิติไฟฟ้าขัดข้องสามารถนำมาแยกสาเหตุการเกิดการตามประเภทการบำรุงรักษาได้ดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 สถิติไฟฟ้าขัดข้องที่ทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีการตัดต้นไม้

ลำดับที่	Date	Feeder	From	to	Minutes	Cause
1	31/3/2552	SS-415	18:50	19:19	29	กิ่งไม้หัก
2	08/7/2552	SS-415	14:38	14:40	2	กิ่งไม้
3	18/8/2552	SS-415	13:01	13:02	1	กิ่งไม้หัก
4	30/8/2552	SS-415	10:06	10:07	1	กิ่งไม้
5	27/10/2552	SS-421	22:01	22:04	3	กิ่งไม้
6	01/5/2553	SS-415	16:39	16:41	2	กิ่งไม้
7	02/7/2553	SS-415	02:29	02:30	1	กิ่งไม้
8	15/6/2554	SS-415	18:48	19:08	20	กิ่งไม้หัก
9	25/1/2555	SS-417	20:03	20:38	35	กิ่งไม้
10	10/2/2555	SS-411	16:00	16:10	10	กิ่งไม้หัก
11	15/8/2555	SS-422	17:39	17:41	2	กิ่งไม้
12	20/9/2555	SS-422	17:59	18:44	45	ต้นไม้ล้ม
13	12/4/2556	SS-415	10:25	10:35	10	กิ่งไม้หัก
14	02/10/2556	SS-415	18:46	19:51	65	กิ่งไม้หัก

ตารางที่ 6 สถิติไฟฟ้าขัดข้องที่ทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตรวจสอบสายป้อน

ลำดับที่	Date	Feeder	From	to	Minutes	Cause
1	13/1/2552	SS-431	10:47	11:00	13	สายใต้ดินชำรุด
2	09/4/2552	SS-431	19:25	19:32	7	สายใต้ดินชำรุด
3	01/8/2552	SS-422	12:44	12:45	1	กลไกในการทำงานของ เซอร์กิตเบรกเกอร์
4	12/9/2552	SS-431	18:04	19:46	102	สายไฟฟ้าขาด
5	05/10/2552	SS-422	12:08	12:10	2	ฟิวส์และอุปกรณ์ร่วม
6	17/3/2553	SS-422	11:28	11:30	2	ฟิวส์และอุปกรณ์ร่วม
7	30/5/2553	SS-428	21:26	21:27	1	สายไฟฟ้าขาด
8	05/6/2553	SS-422	16:38	16:40	2	ฟิวส์และอุปกรณ์ร่วม
9	24/9/2553	SS-411	14:18	14:39	21	สายไฟฟ้าขาด
10	16/12/2553	SS-424	14:08	14:37	29	สายไฟฟ้าขาด
11	27/1/2554	SS-415	17:58	17:59	1	อื่น ๆ (วัสดุแปลกปลอม)
12	19/10/2554	SS-428	19:08	19:59	51	สายไฟฟ้าขาด
13	10/11/2554	SS-428	12:45	13:24	39	สายชำรุด
14	06/3/2555	SS-416	05:08	05:16	8	สายไฟฟ้าขาด
15	21/6/2555	SS-411	10:11	10:52	41	สายไฟฟ้าขาด
16	10/9/2555	SS-428	11:30	11:41	11	สายไฟฟ้าขาด
17	25/12/2555	SS-416	22:08	22:09	1	เกรน
18	15/3/2556	SS-411	12:26	13:10	44	หม้อแปลงแรงดัน
19	11/4/2556	SS-411	13:34	13:35	1	สายไฟฟ้าขาด
20	13/7/2556	SS-422	12:46	12:47	1	สายไฟฟ้าขาด

ข) การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง คือ ทำการบำรุงรักษาเพียงครั้งเดียว สามารถหาอัตราการเกิดความล้มเหลวได้จากสถิติไฟฟ้าขัดข้องได้โดยตรงโดยการนำค่าระยะเวลาเฉลี่ยก่อนที่อุปกรณ์จะเสียหายด้วยจำนวนครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งสถิติไฟฟ้าขัดข้องที่สามารถทำการบำรุงรักษาแบบปรับปรุงด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part มีข้อมูลตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สถิติไฟฟ้าขัดข้องที่ทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part

ลำดับ ที่	Date	From	to	Minutes	Cause	Feeder
1	16/2/2552	09:26	09:28	2	กระรอก, กระแต, หนู	SS-421
2	02/6/2552	14:34	14:35	1	นก	SS-421
3	13/6/2552	06:49	06:51	2	นก	SS-415
4	27/7/2552	06:51	06:53	2	กระรอก, กระแต, หนู	SS-421
5	22/8/2552	07:29	07:31	2	กระรอก, กระแต, หนู	SS-415
6	29/8/2552	14:44	14:46	2	นก	SS-422
7	25/10/2552	07:04	07:09	5	กระรอก, กระแต, หนู	SS-421
8	02/11/2552	18:28	18:31	3	กระรอก, กระแต, หนู	SS-421
9	19/11/2552	06:12	06:13	1	กระรอก, กระแต, หนู	SS-415
10	13/12/2552	07:58	07:59	1	กระรอก, กระแต, หนู	SS-415
11	01/2/2553	10:57	10:58	1	กระรอก, กระแต, หนู	SS-421
12	03/8/2553	02:10	02:24	14	งู	SS-428
13	09/1/2555	19:14	19:16	2	กระรอก, กระแต, หนู	SS-428
14	24/3/2555	15:23	16:40	77	กระรอก, กระแต, หนู	SS-428
15	06/7/2555	17:45	17:46	1	งู	SS-415
16	06/7/2555	17:56	18:13	17	งู	SS-415

และจากตารางที่ 7 จะได้เวลาที่ระบบทำงานก่อนจะขัดข้อง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ค่าเวลาที่ระบบทำงานก่อนจะขัดข้อง หน่วยเป็นนาทีก

เวลา ก่อนที่ระบบทำงานก่อนจะขัดข้อง (นาทีก)				
154,386	15,374	63,360	37,476	10,513
81,618	12,199	23,741	34,665	72,178
262,992	755,570	106,327	149,825	10

นำค่าที่ได้ทั้งหมดจากตารางที่ 8 มารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง จากตารางที่ 7 คือ 16 ครั้ง จะได้ระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบทำงานก่อนจะขัดข้อง (MTTF) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 111,264 นาทีก และหาค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวได้จากส่วนกลับของ MTTF เท่ากับ 4.7239 ครั้งต่อปี

โดยจะพบว่าหากไม่ทำการบำรุงรักษาระบบเลย ระบบจะมีค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวเท่ากับ 4.7239 ครั้งต่อปี สามารถป้องกันได้โดยทำการบำรุงรักษาแบบปรับปรุงโดยติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 รายละเอียดการบำรุงรักษาระบบด้วยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part

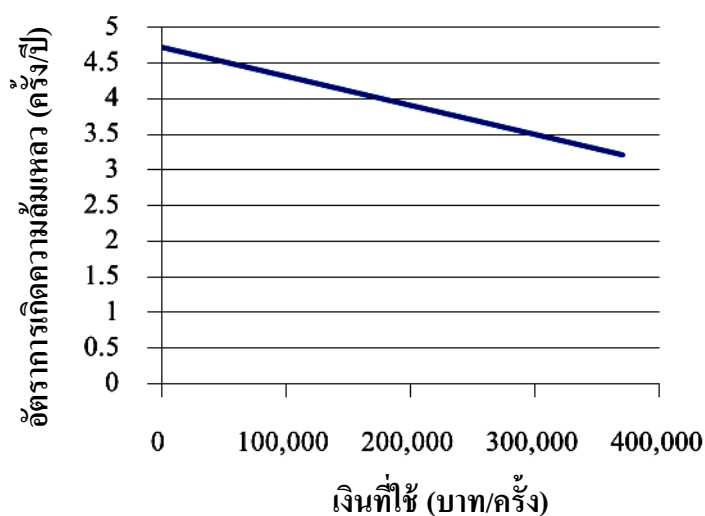
กิจกรรม	ราคา (บาท/หน่วย)	จำนวนติดตั้งทั้งหมด (ตัว)	รวม (บาท)
ติดตั้ง Drop Fuse Cover	1,200	90.00	108,000.00
ติดตั้ง Plastic Cable Guard	1,300	90.00	117,000.00
ติดตั้ง Bird Protection Device	1,700	15.00	25,500.00
ติดตั้ง Barrier	2,000	60.00	120,000.00
รวมทั้งหมด			370,500.00

จากสมมติฐานที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อบำรุงรักษาระบบด้วยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part ด้วยงบบำรุงรักษา 370,500.00 บาท หรือทำการบำรุงรักษาเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ตามที่กำหนดไว้ ให้ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวลดลงเหลือเท่ากับอัตราการเกิดความล้มเหลว ณ 1 เดือนแรกเมื่อพิจารณาตามการแจกแจงแบบไวบูลล์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.2071 ครั้งต่อปี และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเงินที่ใช้ในการทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part กับอัตราการเกิดความล้มเหลวได้ตามตารางที่ 10 และภาพที่ 17

ตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวและเงินที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part ที่ค่าต่างๆ

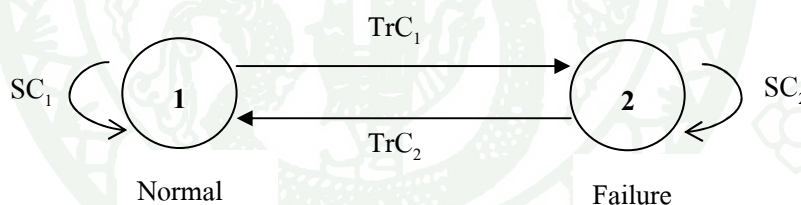
เปอร์เซ็นต์การติดตั้ง	เงินที่ใช้ (บาท)	อัตราการเกิดความล้มเหลว (ครั้ง/ปี)
0	0	4.7239
10	37,050	4.5722
20	74,100	4.4205
30	111,150	4.2688
40	148,200	4.1172
50	185,250	3.9655
60	222,300	3.8138
70	259,350	3.6621
80	296,400	3.5104
90	333,450	3.3588
100	370,500	3.2071

จากตารางที่ 10 เมื่อดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part 100 เปอร์เซ็นต์ จะใช้งบบำรุงรักษาจำนวน 370,500 บาท ดังนั้น เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part 50 เปอร์เซ็นต์ จะต้องใช้เงินครึ่งหนึ่งการลงทุนติดตั้ง 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ 185,250 บาท นั่นเอง



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดความล้มเหลวกับการบำรุงรักษาด้วยวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part

2.2 ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ



ภาพที่ 18 ค่าใช้จ่ายที่สถานะต่างๆ ของระบบ

ค่าใช้จ่ายรวมของระบบสามารถวิเคราะห์ได้จากภาพที่ 18 โดยพิจารณาว่าเมื่อระบบอยู่ในสถานะปกติหรือสถานะล้มเหลวมีค่าใช้จ่ายอะไรเกิดขึ้นบ้าง ซึ่งวิเคราะห์ได้ดังนี้คือ

ก) เมื่อระบบอยู่ในสถานะปกติ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นขณะระบบทำงานปกติ (State Cost; SC_1) ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของการบำรุงรักษา (Maintenance Cost; MC_1) เพื่อรักษาสภาพของระบบให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ข) เมื่อระบบเปลี่ยนจากสภาวะปกติเป็นสภาวะล้มเหลว จะมีค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนสถานะเกิดขึ้น ได้แก่ TrC_1 ซึ่งในการศึกษานี้ คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทุกครั้งเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลาไฟดับ พิจารณาจากค่าเสียโอกาสของผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาตั้งแต่มีไฟฟ้ากลับคืนมา จนสามารถเริ่มกระบวนการได้อีกครั้งหรือดำเนินกิจกรรมต่างๆ ต่อไปได้ ซึ่งจะเรียกช่วงเวลานี้ว่า ระยะเวลาตั้งแต่ไฟฟ้ากลับคืนมาจนถึงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเริ่มกระบวนการหรือดำเนินกิจกรรมต่างๆ ได้อีกครั้ง (t_{start})

ค) เมื่อระบบอยู่ในสภาวะล้มเหลว ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นขณะระบบทำงานไม่ได้ (State Cost; SC_2) ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบในช่วงเวลาไฟฟ้าขัดข้อง และค่าใช้จ่ายที่การไฟฟ้าขายไฟไม่ได้ ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดในส่วนนี้จะขึ้นกับระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง

ง) เมื่อระบบเปลี่ยนจากสภาวะล้มเหลวเป็นสภาวะปกติ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น คือ ค่าใช้จ่ายขณะระบบเปลี่ยนจากสภาวะล้มเหลวเป็นสภาวะปกติ (Transitional Cost; TrC_2) หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้ระบบสามารถใช้งานได้อีกครั้ง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมระบบนั่นเอง

เมื่อระบบมี 2 สภาวะ คือสภาวะปกติ และสภาวะล้มเหลว ตามภาพที่ 18 ข้างต้น ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของระบบจากข้อ ก) ถึง ง) สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังสมการที่ 27

$$TC = SC_1 + TrC_1 + SC_2 + TrC_2 \quad (27)$$

เมื่อ	TC	ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบ (Total Cost)
	SC_1	ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบอยู่ในสภาวะปกติ
	TrC_1	ค่าใช้จ่ายขณะระบบเปลี่ยนสภาวะจากปกติเป็นล้มเหลว
	SC_2	ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบอยู่ในสภาวะล้มเหลว
	TrC_2	ค่าใช้จ่ายขณะระบบเปลี่ยนสภาวะจากล้มเหลวเป็นปกติ

เมื่อวิเคราะห์สมการ (27) จะได้ว่า ค่าใช้จ่ายในขณะที่อยู่ในสภาวะปกติ (SC_1) จะเป็นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (MC_1) เมื่อระบบเปลี่ยนสภาวะจากปกติเป็นสภาวะล้มเหลว ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นคือ ค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง (TrC_1) โดยขึ้นกับจำนวนครั้งที่เกิดไฟฟ้าขัดข้องไม่ขึ้นกับระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง เมื่อระบบล้มเหลว ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นขณะระบบล้มเหลว (SC_2) คือ ค่าใช้จ่ายที่

ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้องและค่าใช้จ่ายเนื่องจากการไฟฟ้าขายไฟไม่ได้ ขึ้นกับระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง และเมื่อระบบเปลี่ยนสถานะจากล้มเหลวเป็นสถานะปกติ จะมีค่าใช้จ่ายในการแก้ไขระบบให้สามารถทำงานได้ตามปกติ (TrC_2) ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของระบบที่พิจารณาจะสามารถหาได้จากสมการที่ 28-31 คือ

$$TC = MC_1 + TrC_1 + SC_2 + TrC_2 \quad (28)$$

เมื่อ $TrC_1 = 5 \times (IER \times kW_{ave} \times t_{start} \times \lambda)$ (29)

$$SC_2 = 5 \times [(P_2 \times IER \times kW_{ave} \times 8760) + (P_2 \times Z)] \quad (30)$$

$$TrC_2 = 5 \times (P_2 \times \mu \times \text{Repair Cost}) \quad (31)$$

กำหนดให้ 5 คือ ช่วงเวลาที่ระบบถูกพิจารณา นั่นคือ 5 ปี โดย IER คือ อัตราค่าความเสียหายต่อพลังงานเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง หน่วยเป็นบาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง kW_{ave} คือ พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเฉลี่ยของสายป้อน มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ t_{start} คือ ระยะเวลาตั้งแต่ไฟฟ้ากลับคืนมาจนถึงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเริ่มกระบวนการหรือกิจกรรมต่างๆ ได้อีกครั้ง มีหน่วยเป็นชั่วโมง (ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ 1 นาที) P_2 คือ ความน่าจะเป็นที่ระบบไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ตามแบบจำลองของมาร์คอฟ Z คือ รายได้จากการขายไฟฟ้าต่อปี หน่วยเป็น บาทต่อปี และ Repair Cost คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมระบบ หน่วยเป็น บาทต่อครั้ง

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อย เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาประเภทต่างๆ สามารถหาได้ตามสมการ 32 คือ

$$TC_s = \sum_{i \in M} (MC_{1i} + TrC_{1i} + SC_{2i} + TrC_{2i}) \quad (32)$$

เมื่อ TC_s คือ ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อย
 M คือ เซตของกิจกรรมบำรุงรักษาประเภทต่างๆ

2.3 การหาค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของการทำกิจกรรมบำรุงรักษากับงบบำรุงรักษาที่จำกัด

เมื่อมีงบในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาที่จำกัด และต้องการหาค่าที่เหมาะสม ว่าควรทำการบำรุงรักษาระบบด้วยความถี่หรือปริมาณงานเท่าไร ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจึงจะมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search Algorithm; CSA) เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมในระบบที่น้อยที่สุด จากการค้นหาวาระในการทำการบำรุงรักษาแต่ละกิจกรรม ภายใต้งบบำรุงรักษาที่จำกัด โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) 2 กรณี ดังนี้

ก) ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อย (Total Cost of Substation; TC_s) มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการ (33)

$$\text{Minimize } TC_s = \sum_{i \in M} (MC_{1i} + TrC_{1i} + SC_{2i} + TrC_{2i}) \quad (33)$$

ข) ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อยที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้อง (Total Outage Cost of Substation; TOC_s) ในกรณีนี้พิจารณาเฉพาะ TrC_1 SC_2 และ TrC_2 ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เป็นผลมาจากไฟฟ้าขัดข้อง ดังสมการ (34)

$$\text{Minimize } TOC_s = \sum_{i \in M} (TrC_{1i} + SC_{2i} + TrC_{2i}) \quad (34)$$

โดยทั้งกรณี ก) และ ข) มีเงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraint) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังสมการ (35) – (36)

$$\sum_{i \in M} MC_{1i} \leq X \quad (35)$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายต่ำสุดกิจกรรมบำรุงรักษา } i \leq MC_{1i} \leq \text{ค่าใช้จ่ายสูงสุดกิจกรรมบำรุงรักษา } i \quad (36)$$

เมื่อ X คือ งบประมาณรักษาที่ใช้ในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาทั้งหมด

ขั้นตอนของการหาวิธีการดำเนินการทำกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสม ที่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในกรณี ก) และ ข) คือ

1. ภายใต้งบประมาณรักษาที่จำกัด CSA จะค้นหาวาระการดำเนินการทำกิจกรรมบำรุงรักษาประเภทต่างๆ (τ)
2. โดยที่ค่า τ ของกิจกรรมบำรุงรักษาประเภทต่างๆ จะเป็นไปตามเงื่อนไขในสมการ (35)
3. ค่า τ ข้างต้นจะเป็นตัวกำหนดค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวเฉลี่ย (λ) ที่ได้จากการแจกแจงแบบไวบูลล์
4. นำค่า λ ที่ได้ไปหาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดของระบบ (TrC_{1i} , SC_{2i} , TrC_{2i}) ตามแบบจำลองของมาร์คอฟ
5. รวมค่าใช้จ่ายต่างๆ ของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีไฟฟ้าย่อย ในกรณี ก) ซึ่งได้แก่ค่าใช้จ่ายรวมของ TrC_{1i} , SC_{2i} , TrC_{2i} และ MC_{1i} ส่วนในกรณี ข) ที่พิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้อง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของ TrC_{1i} , SC_{2i} , และ TrC_{2i}
6. CSA จะดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1 - 5 ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง CSA พบค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดตามกรณี ก) และ ข) มีค่าต่ำที่สุด

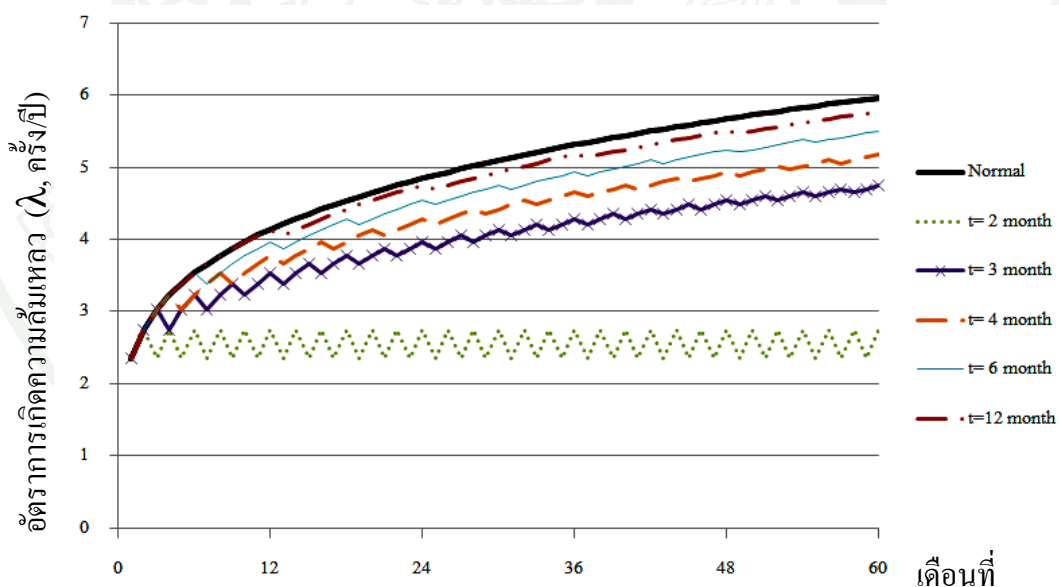
ซึ่งวิธีค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search Algorithm, CSA) ตามขั้นตอนข้างต้นดำเนินการโดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังตัวอย่างในภาคผนวก ก

ผลและวิจารณ์

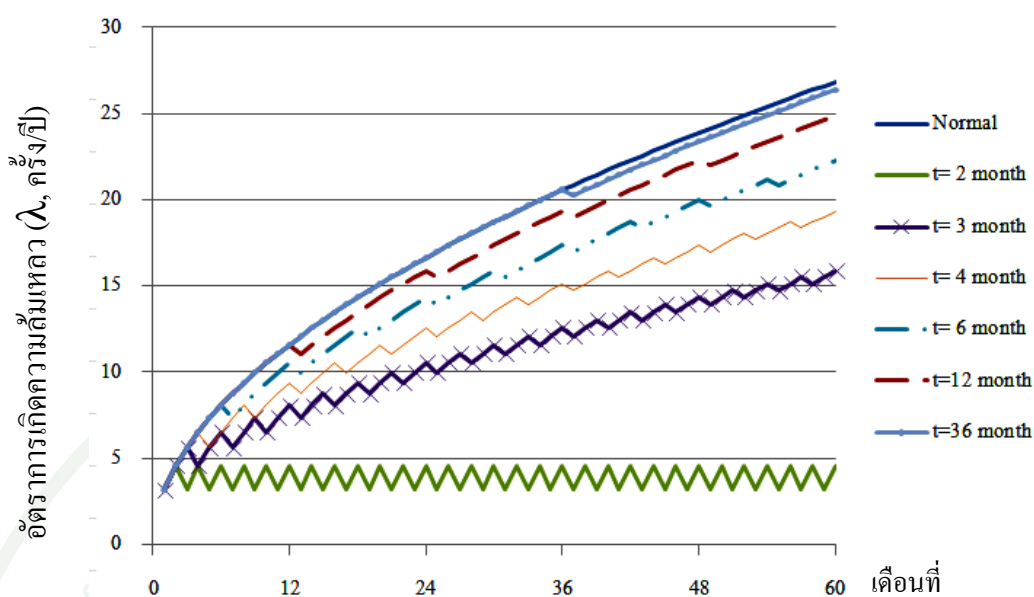
ผล

1. อัตราการเกิดความล้มเหลว

1.1 การบำรุงรักษาแบบป้องกัน เมื่อแยกสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้องตามประเภทการบำรุงรักษาแบบป้องกัน ได้แก่ การบำรุงรักษาระบบด้วยการตัดต้นไม้ และการบำรุงรักษาระบบด้วยการตรวจสอบสายป้อน จากนั้นหาอัตราการเกิดความล้มเหลวที่เป็นผลจากการทำการบำรุงรักษาตามวาระ (τ) ต่างๆ ได้ด้วยวิธีการแจกแจงแบบไวบูลล์ เมื่อระบบไม่มีการบำรุงรักษาอัตราการเกิดความล้มเหลวจะเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันขั้นบันได แต่เมื่อมีการบำรุงรักษาระบบตามวาระ อัตราการเกิดความล้มเหลวจะลดลงหนึ่งขั้นตามภาพที่ 7 และอัตราการเกิดความล้มเหลว เมื่อดำเนินการบำรุงรักษาที่วาระต่างๆ จะได้ค่า ตามภาพที่ 19 และ 20 ตามลำดับ



ภาพที่ 19 อัตราการเกิดความล้มเหลวเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีการตัดต้นไม้



ภาพที่ 20 อัตราการเกิดความล้มเหลวเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตรวจสายป้อน

จากภาพที่ 19 และ 20 อัตราการเกิดความล้มเหลวจะเพิ่มขึ้นเมื่อไม่มีการบำรุงรักษาระบบ แต่เมื่อทำการบำรุงรักษาระบบตามวาระ อัตราการเกิดความล้มเหลวจะลดลง 1 ชั้น และเพิ่มขึ้นใหม่เมื่อระยะเวลาผ่านไปจนกระทั่งมีการบำรุงรักษาอีกครั้งเมื่อครบวาระดำเนินการ เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดของวาระการดำเนินการหนึ่งๆ

1.2 การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง เมื่อแยกสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้องตามประเภทการบำรุงรักษาแบบปรับปรุง ได้แก่ การบำรุงรักษาระบบด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part สามารถหาอัตราการเกิดความล้มเหลว ณ ปัจจุบัน ได้จากส่วนกลับของค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่ระบบทำงานก่อนที่ระบบจะล้มเหลว ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.7239 ครั้งต่อปี ค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวนี้จะลดลงเมื่องบบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น ตามตารางที่ 10 และภาพที่ 17

2. ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ

ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ ภายในระยะเวลาที่ศึกษา 5 ปี สามารถคำนวณได้จากผลรวมของค่าใช้จ่ายของระบบที่สถานะต่างๆได้ ตามแบบจำลองของมาร์คอฟ ดังสมการ (28) – (32) โดยใช้ข้อมูลค่าอัตราการเกิดความล้มเหลวเฉลี่ยที่ได้จากผลลัพธ์ในหัวข้อที่ 1. ซึ่งแสดงดังตารางที่ 11-13 และภาพที่ 21-23

ตารางที่ 11 ค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อบำรุงรักษาด้วยวิธีการตัดต้นไม้ที่วาระดำเนินการต่างๆ กัน

สถานะ วาระดำเนินการ(เดือน)	ค่าใช้จ่าย (บาท)					
	MC _{1A}	TrC _{1A}	SC _{2A}	TrC _{2A}	TC _A	TOC _A
1	6,000,000.00	807,087.88	2,770,520.73	58,831.03	3,636,439.64	9,636,439.64
2	3,000,000.00	875,882.88	3,006,675.89	63,845.70	3,946,404.47	6,946,404.47
3	2,000,000.00	1,363,338.69	4,679,983.66	99,377.80	6,142,700.15	8,142,700.15
4	1,500,000.00	1,473,816.45	5,059,224.80	107,430.85	6,640,472.10	8,140,472.10
5	1,200,000.00	1,528,148.98	5,245,734.11	111,391.31	6,885,274.40	8,085,274.40
6	1,000,000.00	1,560,833.87	5,357,932.74	113,773.81	7,032,540.42	8,032,540.42
7	857,142.86	1,582,438.56	5,432,095.97	115,348.64	7,129,883.18	7,987,026.03
8	750,000.00	1,598,089.08	5,485,820.08	116,489.45	7,950,398.61	7,200,398.61
9	666,666.67	1,609,885.31	5,526,313.45	117,349.31	7,920,214.74	7,253,548.07
10	600,000.00	1,619,370.94	5,558,875.12	118,040.75	7,896,286.80	7,296,286.80
11	545,454.55	1,626,313.63	5,582,707.55	118,546.82	7,873,022.54	7,327,568.00
12	500,000.00	1,632,717.70	5,604,691.03	119,013.63	7,856,422.36	7,356,422.36

ตารางที่ 12 ค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อบำรุงรักษาด้วยวิธีตรวจสอบสายป้อนที่วาระดำเนินการต่างๆ กัน

สถานะ วาระดำเนินการ (เดือน)	ค่าใช้จ่าย (บาท)					
	MC _{1B}	TrC _{1B}	SC _{2B}	TrC _{2B}	TC _B	TOC _B
1	48,958,886.80	1,084,299.52	4,357,839.63	395,189.04	54,796,214.98	5,837,328.18
2	24,479,321.97	1,320,856.06	5,308,569.03	481,405.57	31,590,152.63	7,110,830.66
3	16,318,723.02	3,731,484.55	14,996,973.51	1,359,994.86	36,407,175.95	20,088,452.92
4	12,238,848.98	4,484,567.64	18,023,642.16	1,634,467.16	36,381,525.94	24,142,676.96
5	9,790,997.17	4,883,972.45	19,628,864.76	1,780,036.17	36,083,870.55	26,292,873.38
6	8,159,121.55	5,133,851.74	20,633,138.81	1,871,108.38	35,797,220.48	27,638,098.93
7	6,993,507.99	5,302,737.79	21,311,898.05	1,932,661.40	35,540,805.23	28,547,297.24
8	6,119,303.48	5,427,507.22	21,813,350.98	1,978,135.47	35,338,297.15	29,218,993.67
9	5,439,369.99	5,522,888.00	22,196,689.81	2,012,898.41	35,171,846.20	29,732,476.21
10	4,895,424.98	5,600,901.96	22,510,230.80	2,041,331.75	35,047,889.50	30,152,464.52
11	4,450,381.06	5,657,539.43	22,737,858.86	2,061,974.12	34,907,753.46	30,457,372.40
12	4,079,511.36	5,711,407.26	22,954,355.67	2,081,607.05	34,826,881.34	30,747,369.98

ตารางที่ 12 (ต่อ)

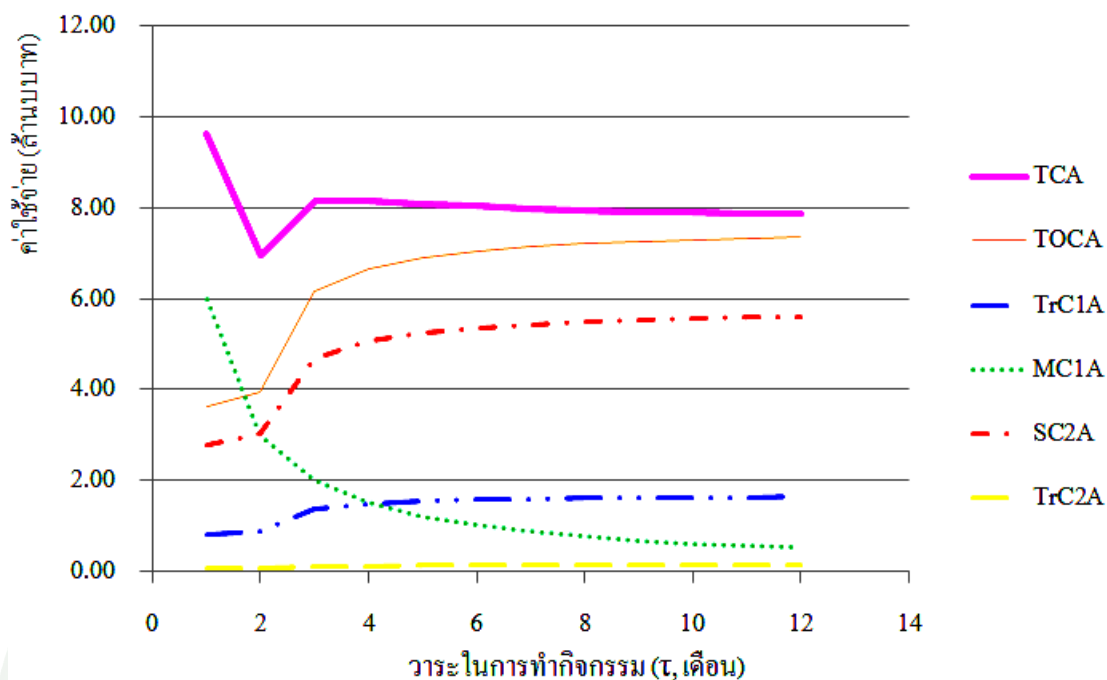
สถานะ วาระดำเนินการ(เดือน)	ค่าใช้จ่าย (บาท)					
	MC _{1B}	TrC _{1B}	SC _{2B}	TrC _{2B}	TC _B	TOC _B
13	3,765,699.84	5,748,837.72	23,104,790.07	2,095,249.14	34,714,576.77	30,948,876.93
14	3,496,718.65	5,784,762.45	23,249,172.88	2,108,342.44	34,638,996.42	31,142,277.77
15	3,263,601.70	5,819,354.61	23,388,200.03	2,120,950.06	34,592,106.41	31,328,504.70
16	3,059,625.17	5,841,664.60	23,477,864.71	2,129,081.27	34,508,235.75	31,448,610.58
17	2,879,645.91	5,863,265.43	23,564,679.21	2,136,954.01	34,444,544.56	31,564,898.65
18	2,719,664.39	5,884,222.56	23,648,906.70	2,144,592.15	34,397,385.79	31,677,721.41
19	2,576,523.05	5,904,591.93	23,730,771.93	2,152,016.06	34,363,902.97	31,787,379.92
20	2,447,695.88	5,924,421.75	23,810,468.71	2,159,243.34	34,341,829.68	31,894,133.79
21	2,331,138.39	5,935,541.07	23,855,157.70	2,163,295.94	34,285,133.11	31,953,994.71
22	2,225,177.05	5,946,398.37	23,898,793.58	2,167,253.04	34,237,622.05	32,012,444.99
23	2,128,429.75	5,957,011.86	23,941,449.58	2,171,121.29	34,198,012.47	32,069,582.73
24	2,039,744.73	5,967,397.73	23,983,190.77	2,174,906.57	34,165,239.80	32,125,495.07

ตารางที่ 12 (ต่อ)

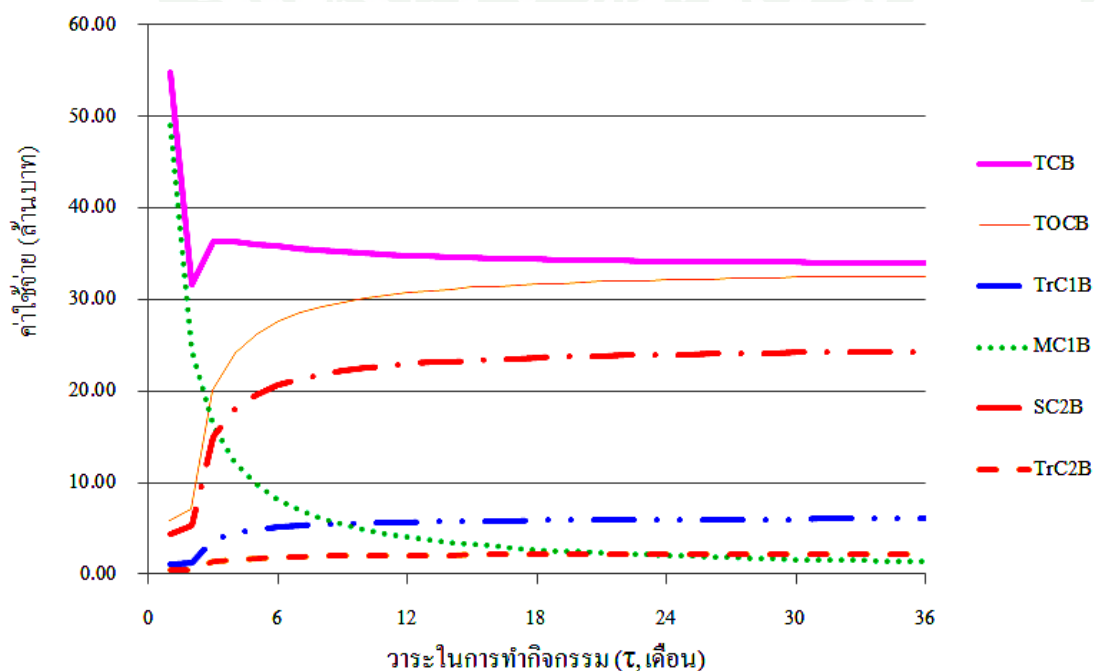
สถานะ วาระดำเนินการ (เดือน)	ค่าใช้จ่าย (บาท)					
	MC _{1B}	TrC _{1B}	SC _{2B}	TrC _{2B}	TC _B	TOC _B
25	1,958,154.52	5,977,570.44	24,024,075.27	2,178,614.17	34,138,414.41	32,180,259.89
26	1,882,840.50	5,987,542.99	24,064,155.29	2,182,248.81	34,116,787.58	32,233,947.09
27	1,813,105.29	5,997,327.07	24,103,477.88	2,185,814.76	34,099,725.00	32,286,619.71
28	1,748,351.18	6,006,933.30	24,142,085.66	2,189,315.89	34,086,686.03	32,338,334.85
29	1,688,062.87	6,016,371.31	24,180,017.39	2,192,755.72	34,077,207.29	32,389,144.42
30	1,631,793.79	6,025,649.90	24,217,308.40	2,196,137.44	34,070,889.53	32,439,095.74
31	1,579,155.16	6,029,369.66	24,232,258.25	2,197,493.16	34,038,276.23	32,459,121.08
32	1,529,806.44	6,033,031.59	24,246,975.68	2,198,827.81	34,008,641.52	32,478,835.08
33	1,483,448.56	6,036,638.39	24,261,471.52	2,200,142.36	33,981,700.82	32,498,252.26
34	1,439,817.61	6,040,192.54	24,275,755.78	2,201,437.72	33,957,203.65	32,517,386.04
35	1,398,679.86	6,043,696.35	24,289,837.73	2,202,714.74	33,934,928.68	32,536,248.82
36	1,359,827.55	6,047,151.97	24,303,725.99	2,203,974.19	33,914,679.69	32,554,852.14

ตารางที่ 13 ค่าใช้จ่ายรวมของระบบเมื่อบำรุงรักษาด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part ด้วยงบบำรุงรักษาค่าต่างๆ กัน

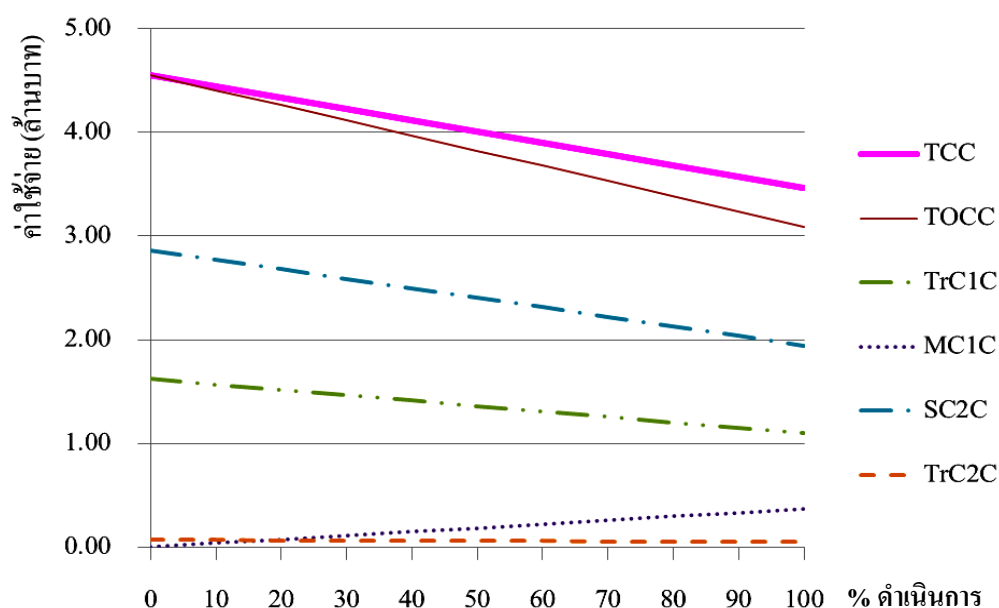
เปอร์เซ็นต์การ ทำกิจกรรม (%)	อัตราการเกิด ความล้มเหลว (ครั้ง/ปี)	ค่าใช้จ่าย (บาท)					
		MC _{1c}	TrC _{1c}	SC _{2c}	TrC _{2c}	TC _c	TOC _c
0	4.7239	0.00	1,620,116.15	2,863,768.99	70,857.04	4,554,742.18	4,554,742.18
10	4.5722	37,050.00	1,568,096.19	2,771,816.86	68,581.91	4,445,544.96	4,408,494.96
20	4.4205	74,100.00	1,516,076.18	2,679,864.63	66,306.77	4,336,347.59	4,262,247.59
30	4.2688	111,150.00	1,464,056.13	2,587,912.32	64,031.64	4,227,150.08	4,116,000.08
40	4.1172	148,200.00	1,412,036.02	2,495,959.92	61,756.50	4,117,952.43	3,969,752.43
50	3.9655	185,250.00	1,360,015.86	2,404,007.43	59,481.35	4,008,754.64	3,823,504.64
60	3.8138	222,300.00	1,307,995.65	2,312,054.85	57,206.21	3,899,556.71	3,677,256.71
70	3.6621	259,350.00	1,255,975.40	2,220,102.18	54,931.06	3,790,358.64	3,531,008.64
80	3.5104	296,400.00	1,203,955.09	2,128,149.43	52,655.91	3,681,160.43	3,384,760.43
90	3.3588	333,450.00	1,151,934.73	2,036,196.59	50,380.76	3,571,962.08	3,238,512.08
100	3.2071	370,500.00	1,099,914.33	1,944,243.65	48,105.61	3,462,763.59	3,092,263.59



ภาพที่ 21 ค่าใช้จ่ยรวมทั้งหมดของระบบเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีการตัดต้นไม้



ภาพที่ 22 ค่าใช้จ่ยรวมทั้งหมดของระบบเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตรวจสอบสายป้อน



ภาพที่ 23 ค่าใช้จ่ยรวมทั้งหมดของระบบเมื่อทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน
Live Part

จากภาพที่ 21 และภาพที่ 22 จะเห็นว่า เมื่อทำการบำรุงรักษาแบบป้องกันด้วยวาระดำเนินการสั้นๆ คือ ทำกิจกรรมนั้นบ่อยๆ เช่น ทำการบำรุงรักษาทุกเดือน หรือทุก 2 เดือน ค่าใช้จ่ยที่เกิดจากการทำการบำรุงรักษามีค่ามาก แต่ในขณะเดียวกันค่าใช้จ่ยของระบบเมื่ออยู่ในสภาวะล้มเหลวจะมีค่าน้อย หมายความว่า เมื่อทำการบำรุงรักษาระบบเป็นอย่างดี ระบบจะสมรรถภาพที่ดีและสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นโอกาสที่ระบบจะอยู่ในสภาวะล้มเหลวก็มีค่าน้อย ค่าใช้จ่ยในสภาวะที่ระบบล้มเหลวก็มีค่าน้อยลงไปด้วย ในขณะเดียวกันหากเลือกทำการบำรุงรักษาด้วยวาระดำเนินการยาวๆ หรือระยะเวลานานๆ จึงทำการบำรุงรักษาระบบสักครั้ง เช่น ทำการบำรุงรักษาระบบทุก 6 เดือน หรือทำการบำรุงรักษาระบบทุก 1 ปี ค่าใช้จ่ยในการทำกิจกรรมบำรุงรักษามีค่าน้อย แต่ค่าใช้จ่ยเมื่อระบบอยู่ในสภาวะล้มเหลวจะมีค่ามากขึ้น กล่าวคือเมื่อไม่มีการบำรุงรักษาระบบหรือบำรุงรักษาระบบน้อย ระบบมีโอกาสล้มเหลวสูง ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเสียหายมาก การไฟฟ้านครหลวง หรือผู้ขายไฟฟ้าที่ไม่สามารถขายไฟฟ้าได้ ได้รับความเสียหายมากเช่นกัน

จากภาพที่ 23 เป็นค่าใช้จ่ยรวมของระบบที่เกิดจากการบำรุงรักษาแบบปรับปรุง เป็นการดำเนินการด้วยงบบำรุงรักษาจำนวนหนึ่งและทำเพียงครั้งเดียว โดยไม่มีการบำรุงรักษาตามวาระ แต่จะแสดงปริมาณของการบำรุงรักษาในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์การดำเนินการ เช่น สามารถ

ดำเนินการบำรุงรักษาได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือสามารถดำเนินการบำรุงรักษาได้ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณงานหรือความสามารถในการดำเนินการนี้ จะส่งผลต่ออัตราการเกิดความล้มเหลวของระบบ ซึ่งมีผลต่อเนื่องไปยังค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ของระบบตามแบบจำลองของมาร์คอฟ จากภาพที่ 23 จะเห็นว่าเมื่อสามารถบำรุงรักษาระบบได้เต็มที่หรือ ค่าความสามารถในการบำรุงรักษาระบบเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาระบบจะมีค่ามาก แต่โอกาสที่ระบบจะล้มเหลวมีค่าน้อย ทำให้ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบล้มเหลวมีค่าน้อยด้วย ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งระบบมีค่าต่ำที่สุด ขณะเดียวกัน เมื่อไม่สามารถบำรุงรักษาระบบได้เลย หรือความสามารถในการบำรุงรักษาระบบมีค่าเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ จะไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของการทำกิจกรรมบำรุงรักษา ทำให้อัตราการเกิดความล้มเหลวมีค่าสูง เมื่ออัตราการเกิดความล้มเหลวสูง โอกาสที่ระบบจะล้มเหลวก็สูงสูงตามไปด้วย ทำให้ ค่าใช้จ่ายเมื่อระบบล้มเหลวมีค่าสูง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าสูงตามไปด้วยเช่นกัน

กล่าวคือภายใต้งบบำรุงรักษาที่ไม่จำกัด ควรทำกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันด้วยวิธีการตัดต้นไม้และตรวจสอบสายป้อน ทุกๆ 2 เดือน และกิจกรรมบำรุงรักษาแบบปรับปรุงด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part ต้องดำเนินการ 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบมีค่าน้อยที่สุด

3. ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของกิจกรรมบำรุงรักษาแต่ละประเภทเมื่อมีงบบำรุงรักษาที่จำกัด

เมื่อมีงบบำรุงรักษาที่ไม่จำกัด สามารถทำกิจกรรมบำรุงรักษาได้ตามภาพที่ 21 – 23 แต่ถ้าหากงบบำรุงรักษามีจำกัด ควรมีการหาค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของการทำกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งระบบมีค่าน้อยที่สุด จะได้วางแผนทำกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ระบบสามารถจ่ายไฟด้วยความเชื่อถือได้สูงเช่นกัน ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า โดยค้นหาวาระและปริมาณงานที่เหมาะสมในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาแต่ละกิจกรรม ภายใต้งบบำรุงรักษาต่างๆ กัน เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในระบบและค่าใช้จ่ายที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้องรวมทั้งหมดในระบบมีค่าต่ำที่สุด แสดงได้ดังตารางที่ 14 และตารางที่ 15

ตารางที่ 14 ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของการทำงานกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ เมื่อมีงบบำรุงรักษาจำกัด ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในระบบมีค่าน้อยที่สุด

งบ บำรุงรักษา	วาระดำเนินการ (เดือน)		% ดำเนินการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)							
	A	B		MC _A	MC _B	MC _C	MC _{รวม}	TC _A	TC _B	TC _C	TC _s
1.86 ล้าน	12	36	0	500,000	1,359,828	0	1,859,828	7,856,422	33,914,680	4,554,742	46,325,844
1.9 ล้าน	12	36	10	500,000	1,359,828	37,050	1,896,878	7,856,422	33,914,680	4,445,545	46,216,647
1.95 ล้าน	12	36	20	500,000	1,359,828	74,100	1,933,928	7,856,422	33,914,680	4,336,348	46,107,450
2 ล้าน	12	36	30	500,000	1,359,828	111,150	1,970,978	7,856,422	33,914,680	4,227,150	45,998,252
2.25 ล้าน	12	36	100	500,000	1,359,828	370,500	2,230,328	7,856,422	33,914,680	3,462,764	45,233,866
2.5 ล้าน	12	36	100	500,000	1,359,828	370,500	2,230,328	7,856,422	33,914,680	3,462,764	45,233,866
3 ล้าน	12	36	100	500,000	1,359,828	370,500	2,230,328	7,856,422	33,914,680	3,462,764	45,233,866
4 ล้าน	12	36	100	500,000	1,359,828	370,500	2,230,328	7,856,422	33,914,680	3,462,764	45,233,866
5 ล้าน	2	36	100	3,000,000	1,359,828	370,500	4,730,328	6,946,404	33,914,680	3,462,764	44,323,848
6 ล้าน	2	36	100	3,000,000	1,359,828	370,500	4,730,328	6,946,404	33,914,680	3,462,764	44,323,848

เมื่อ A = กิจกรรมตัดต้นไม้

B = กิจกรรมตรวจสอบสายป้อน

C = กิจกรรมติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part

ตารางที่ 15 ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของการทำกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ เมื่อมีงบบำรุงรักษาจำกัด ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้องรวมทั้งหมดในระบบ มีค่าน้อยที่สุด

งบบำรุงรักษา	วาระ ดำเนินการ (เดือน)		% ดำเนินการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)							
	A	B		MC _A	MC _B	MC _C	MC _{รวม}	TOC _A	TOC _B	TOC _C	TOC _S
1.86 ล้าน	12	36	0%	500,000	1,359,828	0	1,859,828	7,356,422	32,554,852	4,554,742	44,466,016
1.87 ล้าน	12	36	0%	500,000	1,359,828	0	1,859,828	7,356,422	32,554,852	4,554,742	44,466,016
1.88 ล้าน	12	36	0%	500,000	1,359,828	0	1,859,828	7,356,422	32,554,852	4,554,742	44,466,016
1.89 ล้าน	12	36	0%	500,000	1,359,828	0	1,859,828	7,356,422	32,554,852	4,554,742	44,466,016
1.9 ล้าน	12	36	10%	500,000	1,359,828	37,050	1,896,878	7,356,422	32,554,852	4,408,495	44,319,769
1.925 ล้าน	12	36	10%	500,000	1,359,828	37,050	1,896,878	7,356,422	32,554,852	4,408,495	44,319,769
1.95 ล้าน	12	36	20%	500,000	1,359,828	74,100	1,933,928	7,356,422	32,554,852	4,262,248	44,173,522
1.975 ล้าน	12	36	30%	500,000	1,359,828	111,150	1,970,978	7,356,422	32,554,852	4,116,000	44,027,274
2 ล้าน	12	36	30%	500,000	1,359,828	111,150	1,970,978	7,356,422	32,554,852	4,116,000	44,027,274
2.25 ล้าน	12	36	100%	500,000	1,359,828	370,500	2,230,328	7,356,422	32,554,852	3,092,264	43,003,538
2.5 ล้าน	8	36	100%	750,000	1,359,828	370,500	2,480,328	7,200,399	32,554,852	3,092,264	42,847,515
3 ล้าน	5	35	100%	1,200,000	1,398,680	370,500	2,969,180	6,885,274	32,536,249	3,092,264	42,513,787

ตารางที่ 15 (ต่อ)

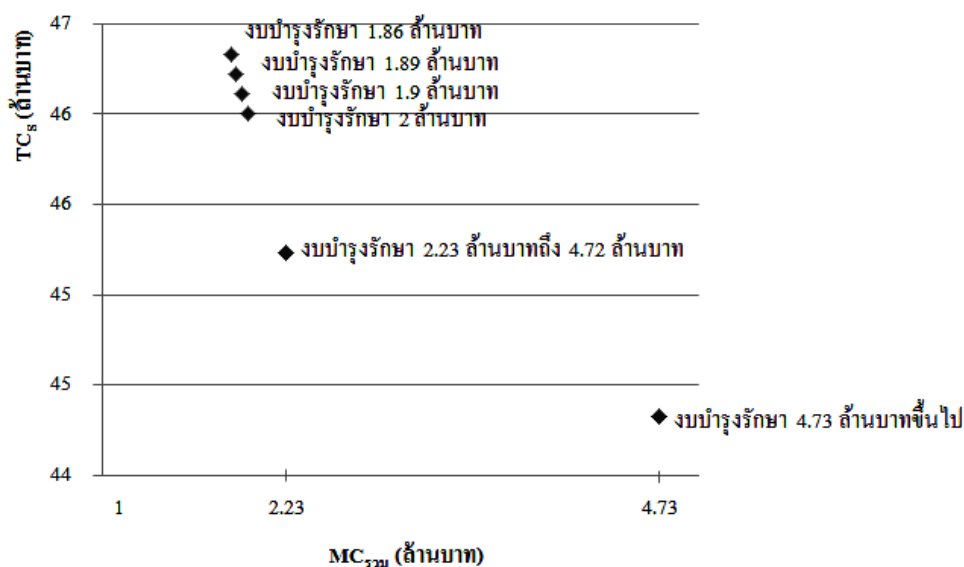
งบ บำรุงรักษา	วาระดำเนินการ (เดือน)		% ดำเนินการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)							
	A	B		MC _A	MC _B	MC _C	MC _{รวม}	TOC _A	TOC _B	TOC _C	TOC _s
4 ล้าน	3	31	100%	2,000,000	1,579,155	370,500	3,949,655	6,142,700	32,459,121	3,092,264	41,694,085
5 ล้าน	2	31	100%	3,000,000	1,579,155	370,500	4,949,655	3,946,404	32,459,121	3,092,264	39,497,789
6 ล้าน	2	19	100%	3,000,000	2,576,523	370,500	5,947,023	3,946,404	31,787,380	3,092,264	38,826,048
7 ล้าน	2	14	100%	3,000,000	3,496,719	370,500	6,867,219	3,946,404	31,142,278	3,092,264	38,180,946
8 ล้าน	2	11	100%	3,000,000	4,450,381	370,500	7,820,881	3,946,404	30,457,372	3,092,264	37,496,040
9 ล้าน	2	9	100%	3,000,000	5,439,370	370,500	8,809,870	3,946,404	29,732,476	3,092,264	36,771,144
10 ล้าน	2	8	100%	3,000,000	6,119,303	370,500	9,489,803	3,946,404	29,218,994	3,092,264	36,257,662
11 ล้าน	2	7	100%	3,000,000	6,993,508	370,500	10,364,008	3,946,404	28,547,297	3,092,264	35,585,965
12 ล้าน	2	6	100%	3,000,000	8,159,122	370,500	11,529,622	3,946,404	27,638,099	3,092,264	34,676,767

เมื่อ A = กิจกรรมตัดต้นไม้

B = กิจกรรมตรวจสอบสายป้อน

C = กิจกรรมติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part

เมื่อมีงบบำรุงรักษาที่จำกัด และต้องการให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีย่อยมีค่าต่ำที่สุด จากตารางที่ 14 สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบกับค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีย่อยที่ได้จากวิธี CSA ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างงบบำรุงรักษากับค่าใช้จ่ายรวมของระบบจำหน่ายทั้งหมดของสถานีย่อยที่ได้จากวิธี CSA

จากภาพที่ 24 สามารถอธิบายได้ ดังนี้

เมื่อพิจารณางบบำรุงรักษาในช่วง 1.86 ล้านบาท ถึง 2.22 ล้านบาท ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (TC_s) มีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ (MC_{rm}) เพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณางบบำรุงรักษาในช่วง 2.23 ล้านบาท ถึง 4.72 ล้านบาท ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (TC_s) ต่ำที่สุด เกิดขึ้นที่ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ (MC_{rm}) เท่ากับ 2.23 ล้านบาท

เมื่อพิจารณางบบำรุงรักษาตั้งแต่ 4.73 ล้านบาทขึ้นไป ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (TC_s) ต่ำที่สุด เกิดขึ้นที่ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ (MC_{rm}) เท่ากับ 4.73 ล้านบาท ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการดำเนินการบำรุงรักษาในปริมาณที่มากกว่านี้ เพราะที่ MC_{rm} เท่ากับ 4.73 ล้านบาท จะให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบ (TC_s) ต่ำที่สุดแล้ว

ในขณะเดียวกันเมื่อพิจารณาเฉพาะผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เป็นผลมาจากไฟฟ้าขัดข้อง ตามตารางที่ 15 จะเห็นว่า เมื่อมีงบบำรุงรักษามากขึ้น จะทำให้ค่าใช้จ่ายส่วนนี้มีค่าลดลงเรื่อยๆ เพราะเมื่อมีงบในการบำรุงรักษามากขึ้นจะสามารถทำการบำรุงรักษาระบบได้บ่อยขึ้น ระบบจะมีความเชื่อถือได้สูงขึ้น ผู้ใช้ไฟฟ้าและการไฟฟ้าได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้องลดลง ซึ่งผลจากการทดลองในกรณีศึกษานี้ แสดงให้เห็นการจัดสรรงบบำรุงรักษาอย่างเหมาะสมให้กับกิจกรรมบำรุงรักษาประเภทต่างๆ โดยทดลองปรับค่างบบำรุงรักษาตั้งแต่ 1.86 ล้านบาท ถึง 12 ล้านบาท

วิจารณ์

จากการจำลองระบบเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้แบบจำลองของมาร์คอฟ เพื่อหาความถี่ (หรือวาระ) และปริมาณงานที่เหมาะสมสำหรับการทำกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ สามารถวิจารณ์ผลการจำลองระบบได้ดังต่อไปนี้

1. เมื่อพิจารณาการบำรุงรักษาแบบป้องกันด้วยวิธีตัดต้นไม้ จะมีช่วงพิจารณาของวาระดำเนินการสั้นๆ คือ วาระดำเนินการ 1 เดือนครั้ง จนถึง 12 เดือนครั้ง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทำกิจกรรมนี้ มีค่าไม่สูงมากนัก ดังนั้นวาระในการทำกิจกรรมนี้จึงไม่ควรนานเกินไป ในขณะเดียวกันการบำรุงรักษาแบบป้องกันด้วยวิธีตรวจสอบสายป้อน ค่าใช้จ่ายในการทำกิจกรรมนี้มีค่าสูงมาก เพื่อให้รองรับงบบำรุงรักษาที่มีค่าน้อยๆ ช่วงของการพิจารณาวาระดำเนินการของกิจกรรมนี้ จึงมีช่วงที่กว้างกว่าเมื่อเทียบกับการบำรุงรักษาแบบป้องกันด้วยวิธีตัดต้นไม้ กล่าวคือ วาระดำเนินการตั้งแต่ 1 เดือนครั้ง จนถึง 36 เดือนครั้ง และการบำรุงรักษาแบบปรับปรุงด้วยวิธีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part จะพิจารณาปริมาณในการติดตั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่สามารถดำเนินการทำกิจกรรมนี้ได้กี่เปอร์เซ็นต์จากงบบำรุงรักษา

2. เมื่อมีงบบำรุงรักษาไม่จำกัด ควรเลือกทำการบำรุงรักษาด้วยวิธีตัดต้นไม้ตามวาระคือ 2 เดือนครั้ง วิธีตรวจสอบสายป้อน 2 เดือนครั้ง และติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน Live Part 100 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายในระบบมีค่าต่ำที่สุด

3. เมื่อมีงบบำรุงรักษาที่จำกัด แต่ต้องการให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้วิธี CSA ซึ่ง CSA จะค้นหาวาระหรือปริมาณการดำเนินงานที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว และจากผลการทดลองของระบบทดสอบพบว่า เมื่อมีงบบำรุงรักษาไม่เกิน 4.73 ล้านบาท ควรใช้งบบำรุงรักษาที่ 2.23 ล้านบาท จะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด และค่าใช้จ่ายรวมของระบบค่านี้จะมามีค่าต่ำที่สุด เมื่อใช้งบบำรุงรักษาที่ 4.73 ล้านบาท

4. เมื่อมีงบบำรุงรักษาที่จำกัด และต้องการให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายเฉพาะที่เป็นผลมาจากไฟฟ้าขัดข้องมีค่าต่ำที่สุด สามารถแก้ปัญหานี้ได้โดยใช้วิธี CSA ได้เช่นกัน จากผลการทดลองในกรณีศึกษานี้พบว่า เมื่อมีงบบำรุงรักษาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายเหล่านี้ต่ำลงไปเรื่อยๆ เนื่องจากระบบมีความเชื่อถือได้ดีขึ้น โอกาสที่จะเกิดไฟฟ้าขัดข้องจึงลดลง ค่าใช้จ่ายที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้องก็น้อยลงไปด้วย



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลที่ได้จากการวางแผนทำการบำรุงรักษาระบบโดยใช้แบบจำลองของมาร์คอฟ จากข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้อง อัตราการเกิดความล้มเหลวจากการแจกแจงแบบไวบูลล์ และค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมของระบบเมื่อมีงบบำรุงรักษาที่จำกัดด้วยวิธีค้นหาแบบนกกาเหว่า ทำให้ได้วาระในการบำรุงรักษาระบบอย่างมีประสิทธิภาพ ใช้งบในการลงทุนบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการจำลองระบบเพื่อวางแผนทำการบำรุงรักษาโดยใช้แบบจำลองของมาร์คอฟ ซึ่งประยุกต์ใช้กับสถานีไฟฟ้าย่อยแสนแสบ ในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน โดยใช้ข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้อง เนื่องจากเป็นข้อมูลจริงที่มีการบันทึกไว้ ทำให้ทราบถึงสาเหตุการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้องที่ชัดเจน สามารถนำวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ได้ใกล้เคียงความเป็นจริง และเป็นการนำข้อมูลที่เก็บไว้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ และมีการเลือกใช้วิธีการแจกแจงแบบไวบูลล์เพื่อหาค่าอัตราการเกิดความล้มเหลว เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้กับการวางแผนบำรุงรักษาระบบตามวาระต่างๆ ได้

ส่วนการแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมเมื่อมีงบบำรุงรักษาที่จำกัด เลือกใช้วิธีค้นหาแบบนกกาเหว่าโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อค้นหาวาระในการดำเนินการทำกิจกรรมแต่ละประเภทอย่างเหมาะสมภายใต้เงื่อนไข ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในระบบ และค่าใช้จ่ายที่เป็นผลจากไฟฟ้าขัดข้องมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถประหยัดเวลาในการแก้ปัญหาดังกล่าว เนื่องจากการเขียนเงื่อนไขต่างๆ สามารถทำได้ง่ายกว่า

ในอนาคตอาจนำการวางแผนทำการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยแบบจำลองของมาร์คอฟไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ในการไฟฟ้านครหลวงได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของระบบ มีตัวแปรบางตัวที่ได้จากการสอบถามข้อมูล ตัวแปรบางตัวได้จากการประมาณ ซึ่งการสอบถามและการประมาณนี้อาจส่งผลให้การผลลัพธ์คลาดเคลื่อนได้ เช่น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมระบบ (Repair Cost) ซึ่งในแบบจำลองนี้ ได้จากการประมาณ เนื่องจาก การไฟฟ้านครหลวงไม่ได้เก็บค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เข้าระบบ ทำให้ยากต่อการรวบรวมและนำมาใช้ไม่สะดวก ค่า IER เป็นต้น เพื่อให้การจำลองระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรมีการเก็บข้อมูลดังกล่าวด้วยระยะเวลาที่นานพอสมควร และจัดเก็บข้อมูลให้เป็นระบบ จะทำให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้อย่างถูกต้อง การจำลองระบบก็จะใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากขึ้น
2. สามารถเลือกวิธีในการหาค่าที่เหมาะสมเพื่อหาค่าใช้จ่ายในการทำการบำรุงรักษาแต่ละกิจกรรมที่เหมาะสมภายใต้งบประมาณที่จำกัดได้ด้วยวิธีอื่น ตามความถนัดของผู้ใช้งาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตติพงษ์ จรรย์ศิริไพศาล, สิริภัทร เชื้อชาวนาวัฒนา และ คำรณ สุณัฒิ. 2555. เพิ่มความถูกต้องของตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทชีนแบบค่ากำลังสองน้อยที่สุด ด้วยขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบนกดุเหว่า, น. 316-323. ใน การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13. กุมภาพันธ์ 2555, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. เอกสารประกอบประกอบการอบรม ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า. วันที่ 3- 15 สิงหาคม 2554 โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ห่อเกียรติ, รศ.ดร. 2549. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษา ระบบจำหน่ายไฟฟ้า. ธนภาคพรีนติ้ง, กรุงเทพฯ.

จิตติพร พงศ์กิตติการ. 2556. การจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการค้นหาแบบนกดุเหว่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน, กรุงเทพฯ.

ปรารธนา วณิษฐ์ธนาคม. 2551 การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรณีศึกษาการไฟฟ้าอำเภอบางปะกง. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พหล นภารัตน์. 2550 การหาตำแหน่งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ตัดตอน เพื่อยกระดับค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยวิธีการจำลองมอนติคาร์โล. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อำนาจ ขวัญไสิธรรม. 2550 การวิเคราะห์การแจกแจงอัตราการเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Civicioglu, P. and E. Besdok. 2011. A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artificial bee colony algorithms, pp. 1-32. *In Springer Science+Business Media B.V.* July 2011.

Goldberg, D.E. 1989 **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. Massachusettes: Addison-Wesley Publishing, p.7.

James Brucker. 2003. **The Weibull Distribution and Reliability Life Testing Lecture Notes**. Available Source: <http://cc.cpe.ku.ac.th/~jim/>, Oct 21, 2003.

Jong-Fil Moon, Yong Tae Yoon, Sang-Seung Lee, Jae-Chul Kim, Hee-Tae Lee and Geun-Pyo Park.. 2006. **Reliability-Centered Maintenance Model to Managing Power Distribution System Equipment**. IEEE Power Engineering Society General Meeting.

Jong-Fil Moon, Jea-Chul Kim, Hee-Tae Lee, Sang-Seung Lee and Yong Tae Yoon. 2006. **Time-varying failure rate extraction in electric power distribution equipment.**^{9th} International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems KTH June 11-15, 2006-05-20.

Wang K.S., F.S. Hsu, P.P. Liu. 2002. **Modeling the bathtub shape hazard rate function in terms of reliability**. Reliability Engineering and System Safety.397-406.

Richard E. Brown. 2002. **Electric Power Distribution Reliability**. Marcel Dekker, Inc. USA.

Yang, X.S. and S. Deb. 2009. Cuckoo Search via Lévy Flights, pp. 210-214. In **World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)**. December 2009, Coimbatore, India.





ตัวอย่าง Code โปรแกรม MATLAB สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า สถานีย่อยแสนแสน ในการไฟฟ้านครหลวง เขตสามแสน ด้วยวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า

```
% ===== %
% Files of the Matlab programs included in the book: %
% Xin-She Yang, Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, %
% kate edited, %
% Second Edition, Luniver Press, (2010). www.luniver.com %
% ===== %

% Cuckoo Search for nonlinear constrained optimization %
% Programmed by Xin-She Yang @ Cambridge University 2009 %

function [bestsol,fval]=cuckoo_search_spring_1(time)
format long;
if nargin<1,
    % Number of iterations
    time= 5000;
end

disp('Computing ... it may take a few minutes.');
```

% Number of nests (or different solutions)
n=25;
% Discovery rate of alien eggs/solutions
pa=0.25;

% Simple bounds of the search domain
% Lower bounds and upper bounds

```
Lb=[1 1 0];
Ub=[12 36 10];

% Random initial solutions
for i=1:n,
    nest(i,:)=Lb+(Ub-Lb).*rand(size(Lb));
end

% Get the current best
fitness=10^10*ones(n,1);
[fmin,bestnest,nest,fitness]=get_best_nest(nest,nest,fitness, 0,
time);

N_iter=0;
%% Starting iterations
for t=1:time,

    % Generate new solutions (but keep the current best)
    new_nest=get_cuckoos(nest,bestnest,Lb,Ub);
    [fnew,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest,new_nest,fitness, t,
time);
    % Update the counter
```

```

        N_iter=N_iter+n;
    % Discovery and randomization
    new_nest=empty_nests(nest,Lb,Ub,pa) ;

    % Evaluate this solution
    [fnew,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest,new_nest,fitness,
t, time);
    % Update the counter again
    N_iter=N_iter+n;
    % Find the best objective so far
    min objective;
    if fnew<fmin,
        fmin=fnew;
        [tt ,money] =setu(best) ;
        fmin = tt(1) + tt(2) + tt(3);
        best
        tt
    end

end %% End of iterations

%% Post-optimization processing
%% Display all the nests
disp(strcat('Total number of iterations=',num2str(time)));
fmin
best
money

%% ----- All subfunctions are list below -----
%% Get cuckoos by random walk
function nest=get_cuckoos(nest,best,Lb,Ub)
% Levy flights
n=size(nest,1);
% Levy exponent and coefficient
% For details, see equation (2.21), Page 16 (chapter 2) of the book
% X. S. Yang, Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, 2nd Edition,
Luniver Press, (2010).
beta=3/2;
sigma=(gamma(1+beta)*sin(pi*beta/2)/(gamma((1+beta)/2)*beta*2^((beta-
1)/2)))^(1/beta);

for j=1:n,
    s=nest(j,:);
    % This is a simple way of implementing Levy flights
    % For standard random walks, use step=1;
    %% Levy flights by Mantegna's algorithm
    u=randn(size(s))*sigma;
    v=randn(size(s));
    %step=u./abs(v).^(1/beta);
    step= 1;
    % In the next equation, the difference factor (s-best) means that
    % when the solution is the best solution, it remains unchanged.
    stepsize=0.01*step.*(s-best);
    % Here the factor 0.01 comes from the fact that L/100 should the
    typical
    % step size of walks/flights where L is the typical lenghtscale;
    % otherwise, Levy flights may become too aggresive/efficient,

```

```

    % which makes new solutions (even) jump out side of the design
    domain
    % (and thus wasting evaluations).
    % Now the actual random walks or flights
    s=round(s+stepsize.*randn(size(s)));
    % Apply simple bounds/limits
    nest(j,:)=simplebounds(s,Lb,Ub);
end

%% Find the current best nest
function [fmin,best,nest,fitness]=get_best_nest(nest,newnest,fitness,
t, time)
% Evaluating all new solutions
for j=1:size(nest,1),
    fnew=fobj(newnest(j,:), t, time);
    % min objective
    if fnew<=fitness(j),
        % max objective
        % if fnew >=fitness(j),
        fitness(j)=fnew;
        nest(j,:)=newnest(j,:);
    end
end
% Find the current best
[fmin,K]=min(fitness) ;
best=nest(K,:);

%% Replace some nests by constructing new solutions/nests
function new_nest=empty_nests(nest,Lb,Ub,pa)
% A fraction of worse nests are discovered with a probability pa
n=size(nest,1);
% Discovered or not -- a status vector
K=rand(size(nest))>pa;

% In real world, if a cuckoo's egg is very similar to a host's eggs,
then
% this cuckoo's egg is less likely to be discovered, thus the fitness
should
% be related to the difference in solutions. Therefore, it is a good
idea
% to do a random walk in a biased way with some random step sizes.
nestn1=nest(randperm(n),:);
nestn2=nest(randperm(n),:);
%% New solution by biased/selective random walks
stepsize=rand*(nestn1-nestn2);
new_nest=nest+stepsize.*K;
for j=1:size(new_nest,1)
    s=new_nest(j,:);
    new_nest(j,:)=round(simplebounds(s,Lb,Ub));
end

% Application of simple constraints
function s=simplebounds(s,Lb,Ub)
% Apply the lower bound
ns_tmp=s;
I=ns_tmp<Lb;

```

```

ns_tmp(I)=Lb(I);

% Apply the upper bounds
J=ns_tmp>Ub;
ns_tmp(J)=Ub(J);
% Update this new move
s=ns_tmp;

%% Spring design optimization -- objective function
function z=fobj(u, t, time)
% The well-known spring design problem
%z=(2+u(3))*u(1)^2*u(2);
%z=(.3* u(1)^2) + (0.12*u(2)^2) + 5.3*u(1) + 8.7*u(2) + 1.24;
%z= 54*u(1) + 46*u(2);
if t > (time * 0.9)
    u;
    %z;
end
[tc, u] = setu(u);

z = tc(1) + tc(2) + tc(3);
if t > (time * 0.9)
    u;
    z;
end
%z=(u(1) -6)^2 + (u(2)-7)^2;
%z=6.5* u(1) - (0.5*u(1)^2) - u(2) - 2*u(3) + 3*u(4) - 2*u(5) -
u(6);
%z = 40 *u(1) + 88* u(2);
%min option

z=z+getnonlinear(u);
%max option
%z=z * getnonlinear(u);

function Z=getnonlinear(u)
Z=0;
% Penalty constant
%min option
lam=10^15;
%max option
%lam = 1;

% Inequality constraints

g=[];

gmin=[];

gmin(1) = u(1) + u(2) + u(3) - (2500000);

% No equality constraint in this problem, so empty;
geq=[];
%geq(1) = u(1) + u(2) - 11;
% Apply inequality constraints
for k=1:length(g)

```

```

        Z=Z+ (lam*g(k)^2)*getH(g(k));
    end
    % Apply inequality constraints
    for k=1:length(gmin)
        Z=Z+ (lam*gmin(k)^2)*getHmin(gmin(k));
    end
    % Apply equality constraints
    for k=1:length(geq)
        Z=Z+(lam*geq(k)^2)*getHeq(geq(k));
    end

```

```

% Test if inequalities hold
% Index function H(g) for inequalities
function H=getH(g)

```

```

    if g>=0,
        H=0;
    else
        H=1;
    end

```

```

function H=getHmin(gmin)
    if gmin<=0,
        H=0;
    else
        H=1;
    end

```

```

% Index function for equalities
function H=getHeq(geq)
    if geq==0,
        H=0;
    else
        H=1;
    end

```

```

function [tc, u] =setu(u)
    if u(1) == 1 ,
        u(1) = 6000000;
        tc(1) = 9636440;
    elseif u(1) == 2 ,
        u(1) = 3000000;
        tc(1) = 6946404;
    elseif u(1) == 3 ,
        u(1) = 2000000;
        tc(1) = 8142700;
    elseif u(1) == 4 ,
        u(1) = 1500000;
        tc(1) = 8140472;
    elseif u(1) == 5 ,
        u(1) = 1200000;
        tc(1) = 8085274;
    elseif u(1) == 6 ,
        u(1) = 1000000;
        tc(1) = 8032540;
    elseif u(1)== 7,
        u(1) = 857142;
        tc(1) = 7987026;
    elseif u(1)== 8,
        u(1) = 750000;
        tc(1) = 7950399;
    end

```

```

elseif u(1)== 9 ,
    u(1) = 666667;
    tc(1) = 7920215;
elseif u(1)==10 ,
    u(1) = 600000;
    tc(1) = 7896287;
elseif u(1)== 11,
    u(1) = 545455;
    tc(1) = 7873023;
elseif u(1) == 12 ,
    u(1) = 500000;
    tc(1) = 7856422;
else
    u(1) = 0;
    tc(1) = 100000000000;
end

```

```

if u(2)<= 1 ,
    u(2) = 48958887;
    tc(2) = 54796214.98;
elseif u(2)==2 ,
    u(2) = 24479322;
    tc(2) = 31590152.63;
elseif u(2)==3 ,
    u(2) = 16318723;
    tc(2) = 36407175.95;
elseif u(2) == 4 ,
    u(2) = 12238849;
    tc(2) = 36381525.94;
elseif u(2) == 5 ,
    u(2) = 9790997;
    tc(2) = 36083870.55;
elseif u(2) == 6 ,
    u(2) = 8159122;
    tc(2) = 35797220.48;
elseif u(2) == 7 ,
    u(2) = 6993508;
    tc(2) = 35540805.23;
elseif u(2) == 8 ,
    u(2) = 6119303;
    tc(2) = 35338297.15;
elseif u(2) == 9 ,
    u(2) = 5439370;
    tc(2) = 35171846.2;
elseif u(2) == 10 ,
    u(2) = 4895425;
    tc(2) = 35047889.5;
elseif u(2) == 11 ,
    u(2) = 4450381;
    tc(2) = 34907753.46;
elseif u(2) == 12 ,
    u(2) = 4079511;
    tc(2) = 34826881.34;
elseif u(2) == 13,
    u(2) = 3765700;
    tc(2) = 34714576.77;
elseif u(2) == 14,
    u(2) = 3496719;

```

```

    tc(2) = 34638996.42;
elseif u(2) == 15,
    u(2) = 3263602;
    tc(2) = 34592106.41;
elseif u(2) == 16,
    u(2) = 3059625;
    tc(2) = 34508235.75;
elseif u(2) == 17,
    u(2) = 2879646;
    tc(2) = 34444544.56;
elseif u(2) == 18,
    u(2) = 2719664;
    tc(2) = 34397385.79;
elseif u(2) == 19,
    u(2) = 2576523;
    tc(2) = 34363902.97;
elseif u(2) == 20,
    u(2) = 2447696;
    tc(2) = 34341829.68;
elseif u(2) == 21,
    u(2) = 2331138;
    tc(2) = 34285133.11;
elseif u(2) == 22,
    u(2) = 2225177;
    tc(2) = 34237622.05;
elseif u(2) == 23,
    u(2) = 2128430;
    tc(2) = 34198012.47;
elseif u(2) == 24,
    u(2) = 2039745;
    tc(2) = 34165239.8;
elseif u(2) == 25,
    u(2) = 1958155;
    tc(2) = 34138414.41;
elseif u(2) == 26,
    u(2) = 1882840;
    tc(2) = 34116787.58;
elseif u(2) == 27,
    u(2) = 1813105;
    tc(2) = 34099725;
elseif u(2) == 28,
    u(2) = 1748351;
    tc(2) = 34086686.03;
elseif u(2) == 29,
    u(2) = 1688063;
    tc(2) = 34077207.29;
elseif u(2) == 30,
    u(2) = 1631794;
    tc(2) = 34070889.53;
elseif u(2) == 31,
    u(2) = 1579155;
    tc(2) = 34038276.23;
elseif u(2) == 32,
    u(2) = 1529806;
    tc(2) = 34008641.52;
elseif u(2) == 33,
    u(2) = 1483449;
    tc(2) = 33981700.82;
elseif u(2) == 34,

```

```

        u(2) = 1439818;
        tc(2) = 33957203.65;
    elseif u(2) == 35,
        u(2) = 1398680;
        tc(2) = 33934928.68;
    elseif u(2) >= 36,
        u(2) = 1359828;
        tc(2) = 33914679.69;
    else
        u(2) = 0;
        tc(2) = 100000000000;
    end

```

```

    if u(3) >= 10,
        u(3) = 370500;
        tc(3) = 3462763.591;
    elseif u(3) == 9,
        u(3) = 333450;
        tc(3) = 3571962.081;
    elseif u(3) == 8,
        u(3) = 296400;
        tc(3) = 3681160.432;
    elseif u(3) == 7 ,
        u(3) = 259350;
        tc(3) = 3790358.642;
    elseif u(3) == 6 ,
        u(3) = 222300;
        tc(3) = 3899556.712;
    elseif u(3) == 5 ,
        u(3) = 185250;
        tc(3) = 4008754.642;
    elseif u(3) == 4 ,
        u(3) = 148200;
        tc(3) = 4117952.431;
    elseif u(3) == 3,
        u(3) = 111150;
        tc(3) = 4227150.08;
    elseif u(3) == 2 ,
        u(3) = 74100;
        tc(3) = 4336347.588;
    elseif u(3) == 1,
        u(3) = 37050;
        tc(3) = 4445544.957;
    elseif u(3) <= 0 ,
        u(3) = 0;
        tc(3) = 4554742.185;
    else
        u(3) = 0;
        tc(3) = 100000000000;
    end

```

```

% ----- end -----

```

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวสุดารัตน์ สมคะเน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	3 กุมภาพันธ์ 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดบุรีรัมย์
ประวัติการศึกษา	ปี 2551 ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) เกียรตินิยมอันดับสอง สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี
ตำแหน่งปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า ระดับ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้านครหลวง เขตสามเสน