

การจัดตารางบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลางด้วย วิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค

Power Distribution System Maintenance Scheduling Based on Reliability Centered Maintenance Principle Using Binary Integer Programming

พีรพัฒน์ ชาวไทย¹ อรุโร หนูหอม² และ พิสุทธิ รพีศักดิ์³

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email : peerapat_roma@hotmail.com¹ , nonurai@hotmail.com² และ pisutr@gmail.com³

บทคัดย่อ

การวางแผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่เพิ่มความเชื่อถือได้ให้ระบบไฟฟ้า ดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอวิธีการคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมตามหลักการบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง และการจัดตารางบำรุงรักษาด้วยวิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค ซึ่งจะจัดสรรช่วงเวลาในการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาที่สอดคล้องกับเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในอดีต เพื่อป้องกันไฟฟ้าขัดข้อง และลดความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องให้ได้มากที่สุด ดังนั้นดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟดับ เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาตามช่วงเวลาต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นจากสถิติไฟฟ้าขัดข้อง และนำไปใช้ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของกระบวนการจัดตารางบำรุงรักษา บทความนี้ได้แสดงตัวอย่างการคัดเลือกและจัดตารางกิจกรรมบำรุงรักษาของการไฟฟ้าแห่งหนึ่ง โดยพิจารณาจากสถิติไฟฟ้าขัดข้องปี 2556 เป็นกรณีศึกษา เพื่อสร้างแผนบำรุงรักษาในช่วงไตรมาสแรกของปี 2557 สำหรับ 3 สายป้อนที่มีสถิติไฟฟ้าดับสูงสุด โดยกำหนดเงื่อนไขบังคับ ได้แก่ กิจกรรมหนึ่งๆ จะต้องทำต่อเนื่องกัน วันเสาร์-อาทิตย์เป็นวันหยุด ทีมปฏิบัติงานมี 1 ทีม (ดังนั้นใน 1 วัน สามารถดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาได้ไม่เกิน 1 กิจกรรม) ผลการคัดเลือกได้ทั้งหมด 19 กิจกรรม ผลการจัดตารางกิจกรรมบำรุงรักษาแสดงค่าประเมินของมูลค่าความเสียหายที่ลดได้ เนื่องจากการทำกิจกรรมบำรุงรักษาเชิงป้องกันเท่ากับ 6,455,047 บาท เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านี้ คิดเป็นค่าอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน เท่ากับ 14.12

คำสำคัญ:

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง การจัดตารางบำรุงรักษา มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟดับ กำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค

Abstract

An efficient power system maintenance planning is an importance factor to improve the power system reliability. This paper presents a method to select proper preventive maintenance





activities based on Reliability-Centered Maintenance (RCM) and schedule the selected maintenance activities using Binary Integer Programming (BIP). In scheduling, activities are assigned to time slots based on the electric outage statistics to optimize chance to prevent outage and maximize reduced outage cost. Therefore, an index which reflects the opportunity to reduce outage cost when performing maintenance activities at different periods of time is developed by deriving from electric outage statistics and employed in the activity scheduling objective function. This paper illustrates the procedure of selecting and scheduling maintenance activities by using collected electric outage data in year 2013 from one district electric utility as the case study. A first quarter of year 2014 maintenance plan for three feeders with highest outage is created under the following constraints. Each activity must be assigned to only one continuing time slot. Saturday and Sunday are holidays. There is only one maintenance team. (Therefore, multiple activities must not be assigned to the same day.) The result shows that 19 preventive maintenance activities are selected and the estimated reduced outage cost due to performing preventive maintenance is 6,455,047 bahts comparing to the previous year. The computed B/C ratio is 14.12.

Keywords:

power distribution system, reliability centered maintenance, maintenance scheduling, outage cost, binary integer programming

คำอธิบายสัญลักษณ์

B	ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับเมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษา (บาท)	$D(m)$	จำนวนวันรวมในช่วงเดือนที่ m (วัน)
B / C	อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit to cost ratio)	$ICPE_c$	ดัชนีอัตราความเสียหายต่อครั้งเมื่อเกิดไฟดับของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท c (บาทต่อครั้ง)
C	ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำกิจกรรมบำรุงรักษา (บาท)	MEB_a	ค่าไฟรายเดือนของผู้ใช้ไฟฟ้า ณ พื้นที่เซกชัน a (บาทต่อเดือน)
C_a^j	ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำกิจกรรมบำรุงรักษา j ณ พื้นที่เซกชัน a (บาท)	$MTTF^k(m)$	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบจำหน่ายจ่ายไฟได้ในช่วงเดือนที่ m โดยพิจารณาที่สาเหตุ k (เดือน)
D_a^j	ระยะเวลาดำเนินการของกิจกรรมบำรุงรักษา j ณ พื้นที่เซกชัน a (บาท)	$\Gamma_a^k(t)$	ดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ในช่วงวันที่ t ณ เซกชัน a (บาท)
D_a^k	ระยะเวลาที่เกิดไฟดับต่อครั้ง โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (นาทิต่อครั้ง)	$\Gamma_a(t)$	ดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงวันที่ t ณ พื้นที่เซกชัน a (บาท)



$\Gamma_a^j(t)$	ดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษา j ในช่วงวันที่ t ณ พื้นที่เซกชัน a (บาท)	A	จำนวนเซกชันทั้งหมดของสายป้อนที่เลือก (เซกชัน)
$\%N_{c,a}^k$	เปอร์เซ็นต์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท c ที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากไฟดับ โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (เปอร์เซ็นต์)	J	จำนวนกิจกรรมบำรุงรักษาทั้งหมดที่ได้รับคัดเลือก (กิจกรรม)
α_a^k	ค่าอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟดับของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (บาทต่อครั้ง)	T	จำนวนวันรวมที่สามารถทำกิจกรรมบำรุงรักษาได้ (วัน)
β_a^k	ค่าอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟดับของการไฟฟ้า โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (บาทต่อครั้ง)	a	ดัชนีบ่งบอกเซกชัน
γ_a^k	ค่าอัตราความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (บาทต่อครั้ง)	c	ดัชนีบ่งบอกประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า
$\delta_a^k(m)$	มูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับประจำเดือน ในช่วงเดือนที่ m โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (บาทต่อเดือน)	j	ดัชนีบ่งบอกกิจกรรมบำรุงรักษา
$\Psi_{a,t,m}^k$	มูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับประจำเดือน ในช่วงวันที่ t เดือนที่ m โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (บาทต่อวัน)	k	ดัชนีบ่งบอกสาเหตุไฟดับ
$\lambda^{k(m)}$	อัตราความล้มเหลวเนื่องจากไฟดับในช่วงเดือนที่ m โดยพิจารณาที่สาเหตุ k (ครั้งต่อเดือน)	m	ดัชนีบ่งบอกช่วงเวลา
η_a	ค่าผลสัมฤทธิ์ของกิจกรรมบำรุงรักษาที่สามารถลดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากสาเหตุ k (เปอร์เซ็นต์)	t	ดัชนีบ่งบอกช่วงวันที่
$Xi_a^j(t)$	ตัวแปรการตัดสินใจ (มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษา j ในช่วงวันที่ t ณ พื้นที่เซกชัน a และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป็นอย่างอื่น)		

1. คำนำ

การบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความเชื่อถือได้สูงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างความพึงพอใจต่อการให้บริการของการไฟฟ้าต่าง ๆ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเกิดความมั่นใจในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้น เพื่อรักษาระดับความเชื่อถือได้ให้เป็นที่พึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้า จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ

การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง (Reliability Centered Maintenance หรือ RCM) เป็นแนวทางการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาประยุกต์ใช้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้อยู่ในระดับที่ต้องการ รวมทั้งสามารถบริหารค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] และเพื่อให้การบำรุงรักษามีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางแผนเพื่อจัดตารางบำรุงรักษาด้วย





บทความ [4] นำเสนอวิธีการจัดตารางบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (SAIFI และ SAIDI) อยู่ในระดับที่ต้องการ และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาน้อยที่สุด โดยใช้วิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming) ผลที่ได้รับจะได้แผนบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบระยะยาว 5 ปี อย่างไรก็ตาม บทความนี้ไม่ได้พิจารณาการวางแผนบำรุงรักษาตามหลักการ RCM ประกอบในขั้นตอนการจัดตารางบำรุงรักษา รวมทั้งไม่ได้ประเมินมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟดับ (Outage Cost) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟดับได้ ทั้งในส่วนของผู้ใช้ไฟฟ้าและการไฟฟ้า

บทความนี้นำเสนอวิธีการจัดตารางการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยประยุกต์ตามหลักการ RCM มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแผนบำรุงรักษาที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟดับให้ได้มากที่สุด และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้การลงทุนทำกิจกรรมบำรุงรักษาเกิดประโยชน์มากที่สุด โดยใช้วิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค (Binary Integer Programming) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการจัดตารางบำรุงรักษา เนื่องจากพิจารณาคำตอบเฉพาะตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าแบบทวิภาคเท่านั้น (กรณีตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง สามารถดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงเวลาต่างกันได้ หรือหากมีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง ไม่สามารถดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงเวลาต่างกันได้) ทั้งนี้วิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาคยังให้คำตอบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดเช่นเดียวกับวิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมซึ่งใช้ในบทความ [4] สำหรับปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการจัดตารางได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบำรุงรักษา ระยะเวลาดำเนินการ และวันหยุดประจำปี

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง

การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง คือ กระบวนการที่ช่วยตัดสินใจเพื่อวางแผนบำรุงรักษาอุปกรณ์หลักที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานโดยรวมของระบบ โดยมุ่งเน้นความเชื่อถือได้ของระบบเป็นหลัก [6]

การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง สรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดขอบเขตของระบบ

ขั้นตอนที่ 2 : วิเคราะห์รูปแบบความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 : พิจารณาสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลว

ขั้นตอนที่ 4 : กำหนดกิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่สอดคล้องกับสาเหตุ

ขั้นตอนที่ 5 : เลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสม

ผลที่ได้รับเมื่อดำเนินการบำรุงรักษาตามกระบวนการ RCM จะทำให้อุปกรณ์และระบบมีความปลอดภัยมากขึ้น ส่งผลให้ระบบมีความเชื่อถือได้สูงขึ้น รวมทั้งเป็นการใช้เงินลงทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 อัตราความล้มเหลวเนื่องจากไฟดับ

อัตราความล้มเหลวเนื่องจากไฟดับ (Failure rate หรือ λ) คือ จำนวนครั้งที่ไฟดับต่อช่วงเวลาพิจารณา ซึ่งบ่งบอกถึงสมรรถนะความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ส่วนกลับของ λ คือ ค่า Mean time to Failure หรือ MTTF หมายถึง ระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถจำหน่ายไฟได้ [1]

บทความนี้ประเมินค่า MTTF จากข้อมูลสถิติไฟดับของสายป้อนทั้งหมดของการไฟฟ้า ในพื้นที่เขตเมือง ซึ่งมีเหตุการณ์ไฟดับน้อยครั้ง และมี



การบันทึกข้อมูลสถิติไฟดับเป็นรายเดือน ดังนั้น จึง
ประเมินค่า MTTF เป็นค่าประจำเดือน ตามสาเหตุ
ไฟดับ เรียกว่า $MTTF^k(m)$

สำหรับอัตราความล้มเหลวเนื่องจากไฟดับ
ประจำเดือน ตามสาเหตุไฟดับ สามารถคำนวณได้
ตามสมการที่ (1)

$$\lambda^k(m) = \frac{1}{MTTF^k(m)} \quad (1)$$

2.3 กำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค

ปัญหาการกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค
คือ ปัญหาเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดประเภท
หนึ่ง ซึ่งกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ
ในรูปของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์กัน
โดยต้องการหาค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เรียกว่า ตัวแปร
ตัดสินใจ (X_j) มีค่าได้ 2 ค่า คือ 1 และ 0 วิธีการแก้
ปัญหาคำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค เรียกว่า
วิธีการแตกกิ่งและการจำกัดขอบเขต (Branch and
Bound) [2]

สรุปโครงสร้างของกำหนดการจำนวนเต็มแบบ
ทวิภาคได้ดังนี้

$$\text{ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ : } \text{Min} \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

$$\text{เงื่อนไขบังคับ : } \sum_{j=1}^n A_{ij} X_j \geq (\text{หรือ } \leq \text{ หรือ } = b_i)$$

$$X_j \in \{0,1\}$$

เมื่อ X_j ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1

C_j สัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจที่ j ในฟังก์ชัน
วัตถุประสงค์

A_{ij} สัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจที่ j ใน
เงื่อนไขบังคับที่ i

b_i ค่าคงที่ที่ทราบค่าในเงื่อนไขบังคับที่ i

3. วิธีการ

ในเบื้องต้นกล่าวถึงภาพรวมของวิธีการที่นำ
เสนอ เริ่มจากการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำ
มาใช้ในการจัดตารางบำรุงรักษา ได้แก่ มูลค่าความ
เสียหายเนื่องจากไฟดับ และดัชนี $\Gamma_a(t)$ ซึ่งเป็นดัชนี
ที่บ่งชี้ความนี้พัฒนาขึ้นใหม่ โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อที่
3.1 และ 3.2 ตามลำดับ จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่
คำนวณได้ไปใช้ในขั้นตอนการคัดเลือกกิจกรรมบำรุง
รักษาตามหลักการ RCM ในหัวข้อที่ 3.3 และขั้นตอน
การจัดตารางดำเนินการในหัวข้อที่ 3.4

3.1 การประเมินมูลค่าความเสียหายเนื่องจาก
ไฟดับ

มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟดับเป็นค่าที่
บ่งบอกถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจเมื่อเกิดเหตุการณ์
ไฟดับ มีหน่วยเป็นบาท

บทความนี้เป็น การประเมินมูลค่า
ความเสียหายเนื่องจากไฟดับเป็นค่าประจำเดือน
ตามสาเหตุไฟดับ เนื่องจากข้อมูลสถิติไฟดับมี
การบันทึกสถิติไว้เป็นรายเดือน โดยจะนำค่าดังกล่าว
ไปใช้ในขั้นตอนการจัดตารางบำรุงรักษา สำหรับระบบ
จำหน่ายไฟฟ้าที่พิจารณาเป็นกรณีศึกษา สามารถแบ่ง
สายป้อนออกเป็นเซกชันย่อยได้ ดังนั้นจึงคำนวณค่า
ดังกล่าวเป็นรายเซกชัน การคำนวณได้พิจารณาเป็น
ขั้นตอนรายละเอียดการคำนวณแต่ละขั้นตอนมีดังนี้
ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณค่าอัตราความเสียหายเนื่องจาก
ไฟดับของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่
เซกชัน a (α_a^k)

ค่าอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟดับของผู้ใช้
ไฟฟ้า (Customer Outage Cost per Event) คำนวณ
จากดัชนีอัตราค่าความเสียหายต่อครั้ง เมื่อเกิดไฟดับ
(Interruption Cost per Event หรือ ICPE) ซึ่งเป็นค่าที่



ได้จากการสำรวจและเก็บข้อมูลความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยแบ่งประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 6 ประเภท คือ บ้านอยู่อาศัย กิจกรรมขนาดเล็ก กิจกรรมขนาดกลาง กิจกรรมขนาดใหญ่ กิจกรรมเฉพาะอย่าง และองค์กรไม่แสวงหากำไร แสดงตามตารางที่ 1 [3]

ตารางที่ 1 อัตราค่าความเสียหายต่อครั้งเมื่อเกิดไฟดับ (ICPE) แบ่งตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า [3]

ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า (C)	ICPE (บาทต่อครั้ง)
บ้านอยู่อาศัย $c = 1$	3,033
กิจกรรมขนาดเล็ก $c = 2$	13,122
กิจกรรมขนาดกลาง $c = 3$	27,385
กิจกรรมขนาดใหญ่ $c = 4$	40,210
กิจกรรมเฉพาะอย่าง $c = 5$	1,862
องค์กรไม่แสวงหากำไร $c = 6$	239

คำนวณได้ตามสมการที่ (2)

$$\alpha_a^k = \sum_{c=1}^6 [ICPE_c \times \%N_{c,a}^k] \quad (2)$$

ขั้นตอนที่ 2 : คำนวณค่าอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟดับของการไฟฟ้า โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (β_a^k)

บทความนี้คำนวณค่าอัตราความเสียหายเนื่องจากไฟดับของการไฟฟ้า (Utility Outage Cost per Event) โดยใช้ข้อมูลค่าไฟฟ้ารายเดือนของผู้ใช้ไฟฟ้า คำนวณได้ตามสมการที่ (3)

$$\beta_a^k = \frac{MEB_a \times D_a^k}{43,200} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) ตัวเลข 43,200 เป็นตัวเลขที่มาจากการแปลงจากหน่วยเดือนให้เป็นหน่วยนาที่

ขั้นตอนที่ 3 : คำนวณค่าอัตราความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a (γ_a^k)

ค่าอัตราความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ (Total Outage Cost per Event) คือ ผลรวมของค่าอัตราความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับของผู้ใช้ไฟฟ้า และค่าอัตราความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับของการไฟฟ้า คำนวณได้ตามสมการที่ (4)

$$\gamma_a^k = \alpha_a^k + \beta_a^k \quad (4)$$

ขั้นตอนที่ 4 : คำนวณมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับประจำเดือน ในช่วงเดือนที่ m โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a ($\delta_a^k(m)$) ซึ่งหมายถึง มูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับประจำเดือน (Monthly Total Outage Cost) คำนวณได้ตามสมการที่ (5)

$$\delta_a^k(m) = \gamma_a^k \times \lambda^k(m) \quad (5)$$

3.2 ดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับเมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่ต่างกัน

บทความนี้กำหนดดัชนีเพื่อใช้ประกอบในการจัดตารางบำรุงรักษา ซึ่งเป็นดัชนีที่สะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับเมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่ต่างกัน เรียกว่า $\Gamma_a(t)$ หมายถึง ดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงวันที่ t ณ พื้นที่เซกชัน a มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : คำนวณมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับประจำเดือน ในช่วงวันที่ t เดือนที่ m โดยพิจารณาที่สาเหตุ k ณ พื้นที่เซกชัน a ($\Psi_a^k(t,m)$) ซึ่งเป็นการแปลงหน่วยของมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับประจำเดือน ($\delta_a^k(m)$) จากหน่วยบาทต่อเดือนให้เป็นหน่วยบาทต่อวัน คำนวณได้ตามสมการที่ (6)

$$\Psi_a^k(t,m) = \frac{\delta_a^k(m)}{D(m)} \quad (6)$$



จากสมการที่ (6) ค่า $\Psi_a^k(t, m)$ ในแต่ละวัน
ของเดือนเดียวกันจะมีค่าเท่ากันตลอด

ขั้นตอนที่ 2: คำนวณดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลด
มูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ โดยพิจารณา
ที่สาเหตุ k ในช่วงวันที่ t ณ พื้นที่เซกชัน a ($\Gamma_a^k(i)$)

การคำนวณค่าดังกล่าวจะนำค่า $\Psi_a^k(t, m)$
มาบวกกันแบบย้อนกลับ เรียกว่า การรวมแบบสะสม
ย้อนกลับ

การคำนวณดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลด
มูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับ โดยพิจารณา
ที่สาเหตุ k ในวันที่ i ณ พื้นที่เซกชัน a สามารถคำนวณ
ได้ตามสมการที่ (7) สมมติว่าระยะเวลาที่สามารถ
ทำกิจกรรมบำรุงรักษาได้เท่ากับ T วัน

$$\Gamma_a^k(i) = \sum_{t=i}^T \Psi_a^k(t, m) \quad (7)$$

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลด
มูลค่าความเสียหายรวมเมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาใน
ช่วงวันที่ t ณ พื้นที่เซกชัน a ($\Gamma_a^k(i)$)

การคำนวณดัชนีสะท้อนโอกาสที่สามารถลด
มูลค่าความเสียหายรวมเมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษา
ในวันที่ i ณ พื้นที่เซกชัน a สามารถคำนวณได้ตาม
สมการที่ (8) โดยสาเหตุไฟดับที่เกิดขึ้น ณ พื้นที่เซกชัน
 a มี K สาเหตุ

$$\Gamma_a(i) = \sum_{k=1}^K \eta_k \times \Gamma_a^k(i) \quad (8)$$

3.3 การคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสม
ตามหลักการบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็น
ศูนย์กลาง

การคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสม
ตามหลักการบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็น

ศูนย์กลางมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกกิจกรรมบำรุงรักษา
ที่ให้ความคุ้มค่ามากที่สุด นั่นคือ เมื่อดำเนินกิจกรรม
ที่ได้รับการคัดเลือกแล้วจะส่งผลให้ระบบจำหน่าย
ไฟฟ้ามีระดับความเชื่อถือได้สูงขึ้น และเป็นการใช้
เงินลงทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพิจารณาเลือก
กิจกรรมบำรุงรักษาจะพิจารณาจากอัตราส่วนของผล
ตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit to cost ratio หรือ B/C)
เพื่อให้การคัดเลือกกิจกรรมเกิดความคุ้มค่ามากที่สุด
มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: เลือกสายป้อน จากนั้นแบ่งสายป้อน
เป็นเซกชัน

การเลือกสายป้อนที่ต้องการวางแผน เป็นการ
กำหนดขอบเขตของแผนบำรุงรักษาให้ครอบคลุม
เฉพาะสายป้อนที่พิจารณาเท่านั้น จากนั้น แบ่งสาย
ป้อนที่เลือกเป็นเซกชันต่างๆ ตามตำแหน่งของสวิตช์
ใบมีด

ขั้นตอนที่ 2: เลือกเซกชัน

การเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาพิจารณาเลือก
กิจกรรมเป็นรายเซกชัน เพื่อให้การบำรุงรักษาครอบคลุม
เฉพาะบริเวณที่เกิดไฟดับ เนื่องจากข้อมูลสถิติไฟดับ
พบว่า บริเวณที่เกิดไฟดับจะเกิดขึ้นเพียงบางส่วนของ
สายป้อนเท่านั้น หากบำรุงรักษาตลอดทั้งสายป้อน จะ
ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูงโดยไม่จำเป็น

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณค่าพารามิเตอร์ และ ในเซกชัน

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะคำนวณ
ค่าโดยจำแนกตามสาเหตุไฟดับที่เกิดขึ้นในเซกชัน

ขั้นตอนที่ 4: พิจารณากิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไป
ได้จากสาเหตุไฟดับในเซกชัน

สาเหตุไฟดับที่เกิดขึ้นอาจมีหลายกิจกรรมที่
สามารถแก้ไขสาเหตุไฟดับได้ ซึ่งกิจกรรมเหล่านั้น
อาจมีค่าผลสัมฤทธิ์ (η) ต่างกัน



ค่าผลสัมฤทธิ์ หมายถึง ค่าประสิทธิผลของกิจกรรมบำรุงรักษาที่สามารถลดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากสาเหตุไฟดับ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการประเมินของพนักงานการไฟฟ้าผู้มีประสบการณ์ในงานบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ตัวอย่างการพิจารณากิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ กรณีสาเหตุไฟดับเกิดจากกระรอก แสดงดังภาพที่ 1 พบว่ากิจกรรมที่เป็นไปได้มี 3 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมมีค่าผลสัมฤทธิ์ต่างกัน



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการพิจารณากิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ กรณีสาเหตุไฟดับเกิดจากกระรอก

ขั้นตอนที่ 5 : คัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสมให้ครอบคลุมสาเหตุไฟดับในเซกชัน โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน

ขั้นตอนนี้เริ่มจากคำนวณค่า B/C ของกิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ ดังสมการที่ (9) สมมติว่า แผนบำรุงรักษามีระยะเวลาทั้งสิ้น M เดือน และสาเหตุไฟดับที่เกิดขึ้นในเซกชัน a มีทั้งสิ้น K สาเหตุ

$$B/C = \frac{\sum_{k=1}^K \left[\eta_k \times \left(\sum_{m=1}^M \delta_a^k(m) \right) \right]}{C} \quad (9)$$

ทางขวามือของสมการที่ 9 ตัวเศษ หมายถึง ผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับ (Benefit หรือ B) เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงเวลาตามแผน

หลังจากคำนวณค่า B/C ของกิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว จากนั้น คัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษา โดยเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่มีค่า B/C

มากที่สุดเป็นกิจกรรมแรกที่ได้รับการคัดเลือก และหากกิจกรรมบำรุงรักษาที่มีค่า B/C มากที่สุด ยังไม่สามารถแก้ไขสาเหตุไฟดับได้ครบทุกสาเหตุ ก็จะเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่มีค่า B/C ลำดับถัดมา จนกระทั่งกิจกรรมบำรุงรักษาที่คัดเลือกทั้งหมดสามารถแก้ไขสาเหตุไฟดับได้ครบทุกสาเหตุแล้วในเซกชันที่พิจารณา

3.4 การจัดตารางบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า

นำกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสมทั้งหมดของทุกเซกชันของสายป้อนจะถูกนำมาจัดตารางบำรุงรักษา

การจัดตารางบำรุงรักษาจะพิจารณาจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ ให้คัดเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษานั้นคือช่วงเวลาที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับได้มากที่สุด สำหรับปัจจัยที่นำมาพิจารณาเพื่อจัดตารางบำรุงรักษา ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ระยะเวลาดำเนินการ วันหยุดประจำปี และดัชนี $\Gamma_a(t)$ ของกิจกรรมบำรุงรักษาที่ได้รับการคัดเลือก ก่อนกล่าวถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับจะอธิบายถึงการกำหนดช่วงวันดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษา และการกำหนดจำนวนตัวแปรการตัดสินใจ ($X'_a(t)$) มีรายละเอียด ดังนี้

1. การกำหนดช่วงวันดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษา มีเงื่อนไขดังนี้

- วันที่ดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาจะไม่ตรงกับวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ หรือวันหยุดประจำปี

- ช่วงวันดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาจะต้องทำกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง หรือทำกิจกรรมครบวันหยุดได้ (การทำกิจกรรมครบวันหยุด หมายถึง



เริ่มทำกิจกรรมก่อนวันหยุด และทำต่ออีกครั้งหลังจากวันหยุด โดยในวันหยุดจะไม่มีทำกิจกรรมใดๆ ทั้งสิ้น)

เพื่อให้การกำหนดช่วงวันดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาเป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้น จะสร้างปฏิทินใหม่ โดยตัดวันหยุดออกจากปฏิทิน และกำหนดให้วันดำเนินการก่อนและหลังวันหยุดเป็นวันที่อยู่ติดกัน ตัวอย่างเช่น ตัดวันเสาร์และวันอาทิตย์ออก และให้วันศุกร์อยู่ติดกับวันจันทร์ เป็นต้น โดยขั้นตอนการจัดตารางบำรุงรักษาจะดำเนินการบนปฏิทินที่สร้างขึ้นใหม่นี้

2. การกำหนดจำนวนตัวแปรการตัดสินใจ

การแก้ปัญหาการจัดตารางบำรุงรักษาในบทความนี้ใช้วิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวิภาค จึงต้องกำหนดจำนวนตัวแปรการตัดสินใจ $X_a^j(t)$ เพื่อสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ ตัวอย่างเช่น จำนวนกิจกรรมบำรุงรักษาที่ได้รับคัดเลือกทั้งหมดมี J กิจกรรม โดยแผนบำรุงรักษามีระยะเวลา X วัน และมีวันหยุดประจำปีรวม Y วัน จำนวนวันรวมที่สามารถทำกิจกรรมบำรุงรักษาได้ เท่ากับ $X-Y = T$ วัน ดังนั้น จำนวนตัวแปรการตัดสินใจ $X_a^j(t)$ มีจำนวนเท่ากับ $T \times J$ ตัวแปร

ตัวอย่างการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ มีดังนี้ สมมติว่าจำนวนกิจกรรมบำรุงรักษาทั้งหมดที่ได้รับคัดเลือกมี J กิจกรรม โดยจำนวนเซกชันทั้งหมดของสายป้อนที่เลือกเท่ากับ A เซกชัน และจำนวนวันรวมที่สามารถทำกิจกรรมบำรุงรักษาได้ เท่ากับ T วัน ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ เป็นดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์:

$$\text{Min } f = \sum_{t=1}^T \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J \frac{(C_a^j - \Gamma_a^j(t))}{D_a^j} X_a^j(t) \quad (10)$$

เงื่อนไขบังคับที่ 1 : กำหนดระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษา

$$\sum_{t=1}^T X_a^j(t) = D_a^j \quad \forall j, \forall a \quad (11)$$

เงื่อนไขบังคับที่ 2 : ใน 1 วัน สามารถทำกิจกรรมบำรุงรักษาได้ไม่เกิน 1 กิจกรรม

$$\sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^J X_a^j(t) \leq 1 \quad \forall t \quad (12)$$

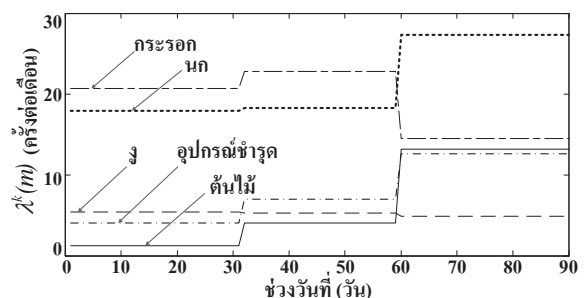
เงื่อนไขบังคับที่ 3 : การทำกิจกรรมบำรุงรักษาจะต้องทำกิจกรรมต่อเนื่องกัน [5]

$$X_a^j(t) - X_a^j(t-1) \leq X_a^j(t+1) + D_a^j - 1 \quad \forall j, \forall a, \forall t \quad (13)$$

4. กรณีศึกษาและผล

บทความนี้นำข้อมูลสถิติไฟดับในปี 2556 มาพิจารณาเพื่อสร้างแผนบำรุงรักษาในช่วงไตรมาสแรกของปี 2557 ระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557 (แผนบำรุงรักษามีระยะเวลา 90 วัน) มีวันหยุดประจำปีรวม 28 วัน ดังนั้น จำนวนวันรวมที่สามารถทำกิจกรรมบำรุงรักษาได้ เท่ากับ 62 วัน

เนื่องจากในบทความนี้สร้างแผนบำรุงรักษาในช่วงวันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557 จึงแสดงผลการคำนวณค่า $\lambda^k(m)$ เพียงระยะเวลา 90 วัน ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลการคำนวณค่า $\lambda^k(m)$ (ครั้งต่อเดือน)





จากภาพที่ 2 แสดงค่า λ^k (m) ในช่วงเวลาต่าง ๆ พิจารณาจากสาเหตุไฟดับที่เกิดขึ้นของสายป้อนทั้งหมดที่เป็นกรณีศึกษา โดยคำนวณค่า λ^k (m) จากสมการที่ (1)

4.1 ผลการคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสมตามหลักการบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลาง

สรุปผลการคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาได้ดังนี้ ผลของขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 : สายป้อนที่เลือกมีจำนวน 3 สายป้อน คือ สายป้อน AB และ C เนื่องจากสายป้อนเหล่านี้เป็นสายป้อนที่มีเหตุการณ์ไฟดับมากที่สุด 3 อันดับแรกจากสายป้อนทั้งหมดของการไฟฟ้า โดยแต่ละสายป้อนแบ่งเป็นเซกชันได้ดังนี้

สายป้อน A แบ่งเป็นเซกชัน ได้แก่ เซกชัน a1 a2 a3 a4 และ a5

สายป้อน B แบ่งเป็นเซกชัน ได้แก่ เซกชัน b1 b2 b3 b4 b5 และ b6

สายป้อน C แบ่งเป็นเซกชัน ได้แก่ เซกชัน c1 c2 c3 และ c4

จากนั้น คำนวณค่าพารามิเตอร์ α_a^k β_a^k γ_a^k และ δ_a^k โดยคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทุกเซกชัน

ตัวอย่างผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์สำหรับเซกชัน a4 แสดงในตารางที่ 2 โดยสาเหตุไฟดับที่เกิดขึ้นในเซกชันดังกล่าว ได้แก่ กระจกงู นก และอุปกรณ์ชำรุด

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ α_a^k β_a^k γ_a^k และ δ_a^k (m) สำหรับเซกชัน a4

สาเหตุ	α_a^k	β_a^k	γ_a^k	δ_a^k (m)		
				ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
กระจกงู	4,632	12,517	17,149	355,635	390,917	249,099
งู	4,632	8,611	13,244	71,464	69,880	64,730
นก	4,632	2,850	7,483	134,327	137,064	204,342
อุปกรณ์ชำรุด	4,632	243	4,875	19,915	34,118	61,460

ผลของขั้นตอนที่ 4 และ 5 : คัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสมจากกิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ทั้งหมดให้ครอบคลุมสาเหตุไฟดับ โดยพิจารณาจากค่า B/C โดยคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาทุกเซกชัน

ตัวอย่างการคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับเซกชัน a4 แสดงในตารางที่ 3

การจัดตารางบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็น
ศูนย์กลางด้วยวิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวีภาค



ตารางที่ 3 การคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสมจากกิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับเซกชัน a4

กิจกรรมบำรุงรักษา ที่เป็นไปได้	หน่วย	ค่าใช้จ่าย ต่อหน่วย (บาท)	ปริมาณงาน (หน่วยต่อเซกชัน)	ป้องกันสาเหตุ	B (บาท)	C (บาท)	B/C	สถานะ
ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	ชุด	1,162	13	งู นก กระรอก	1,029,022	15,100	68.145	✓
ตรวจสอบสายป้อนด้วย Thermoscan พร้อมแก้ไข	สายป้อน	30,120	1	อุปกรณ์ชำรุด	80,845	30,120	2.684	✓
ติดตั้ง Bird guard	ชุด	3,236	42	นก	333,013	135,912	2.450	✗
กวดขัน Stirrup Hotline Clamp	จุด	2,000	15	อุปกรณ์ชำรุด	69,296	30,000	2.310	✗
ติดตั้ง Snake guard	ชุด	1,788	40	งู	164,859	71,520	2.305	✗
เปลี่ยนสาย SAC	กิโลเมตร	967,292	1	งู กระรอก	782,857	967,292	0.809	✗

แหล่งที่มา ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของอุปกรณ์ได้จากการสอบถามผู้ผลิต โดยอุปกรณ์ที่ใช้เป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ แสดงสถานะของกิจกรรมที่ได้รับการคัดเลือก และเครื่องหมาย X แสดงสถานะของกิจกรรมที่ไม่ได้รับการคัดเลือก

จากตารางที่ 3 กิจกรรมติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย และตรวจสอบสายป้อนด้วย Thermoscan พร้อมแก้ไข เป็นกิจกรรมที่มีค่า B/C มากที่สุด ซึ่งป้องกันสาเหตุไฟดับได้ครอบคลุมสาเหตุทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเซกชัน a4

ผลการคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาทั้งหมดของสายป้อน A B และ C แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กิจกรรมบำรุงรักษาที่ได้รับการคัดเลือกสำหรับสายป้อน A B และ C

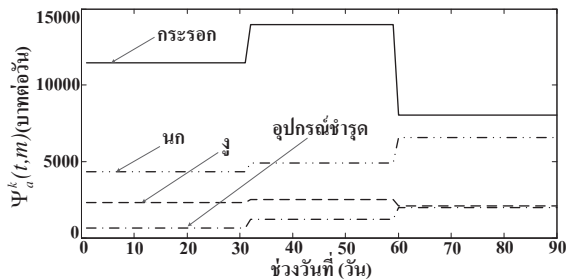
กิจกรรม ที่	กิจกรรมบำรุงรักษา	เซก ชัน	C (บาท)	จำนวน วัน (วัน)
1	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	a1	19,747	3
2	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	a2	11,616	2
3	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	a3	17,424	2
4	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	a4	15,100	2
5	ตรวจสอบสายป้อนด้วย Thermoscan พร้อมแก้ไข		30,120	1
6	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	a5	30,201	4
7	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	b1	31,362	4
8	ตรวจสอบสายป้อนด้วย Thermoscan พร้อมแก้ไข		30,120	1
9	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	b2	11,616	2
10	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	b3	37,170	4
11	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	b4	13,939	2
12	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	b5	36,009	4
13	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	b6	23,231	3
14	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	c1	26,716	3
15	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	c2	34,847	4
16	กวดขัน Stirrup Hotline Clamp		12,000	2
17	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	c3	29,039	4
18	กวดขัน Stirrup Hotline Clamp		20,000	3
19	ติดตั้ง Cover บริเวณจุดเปลี่ย	c4	20,908	3



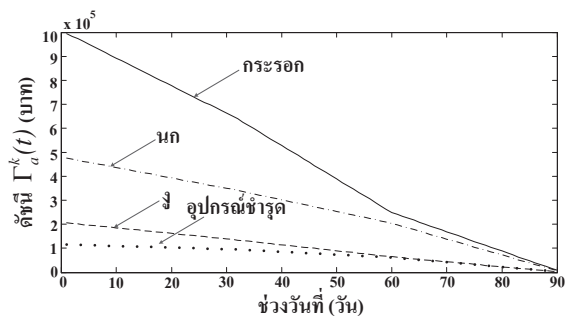
จากผลการคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาทั้งหมดในตารางที่ 4 จะได้รับกิจกรรมบำรุงรักษารวม 19 กิจกรรม จากกิจกรรมบำรุงรักษาที่เป็นไปได้ทั้งหมด 62 กิจกรรม ใช้เงินค่าใช้จ่ายรวม 457,165 บาท และมีระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษารวมเท่ากับ 53 วัน

4.2 ผลการจัดตารางบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า ขั้นตอนการจัดตารางบำรุงรักษา เริ่มจากคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ $\Psi_a^k(t,m)\Gamma_a^k(t)$ และ $\Gamma_a(t)$ ของกิจกรรมบำรุงรักษาที่ได้รับการคัดเลือกทั้งหมดจากตารางที่ 4 ในช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 90 (1 มกราคม ถึง 31 มีนาคม 2557)

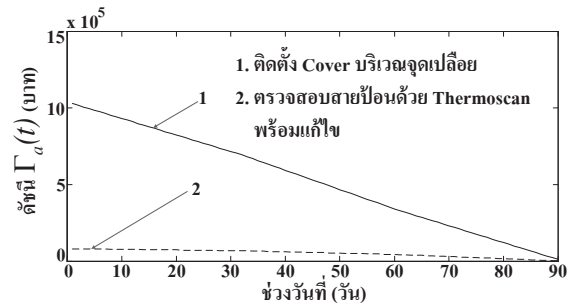
ตัวอย่างผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับเซกชัน a4 แสดงเป็นกราฟดังภาพที่ 3 ถึง 5



ภาพที่ 3 ผลการคำนวณค่า $\Psi_a^k(t,m)$ สำหรับเซกชัน a4



ภาพที่ 4 ผลการคำนวณดัชนี $\Gamma_a^k(t)$ สำหรับเซกชัน a4



ภาพที่ 5 ผลการคำนวณดัชนี $\Gamma_a(t)$ ของกิจกรรมบำรุงรักษาที่ได้รับการคัดเลือก สำหรับเซกชัน a4 ผลการจัดตารางกิจกรรมบำรุงรักษาทั้ง 19 กิจกรรม ได้คำนวณมูลค่าความเสียหายที่ลดได้ เท่ากับ 6,455,047 บาท และค่าอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C) เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาตามแผนที่วางไว้ มีค่าเท่ากับ 14.12 (ค่า B/C คำนวณจากผลหารระหว่างมูลค่าความเสียหายที่ลดได้ และค่าใช้จ่ายรวมที่ใช้ในการทำกิจกรรม)

ในภาพที่ 6-8 แสดงผลการจัดตารางบำรุงรักษาแบบแผนรายวันในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมปี 2557

ลำดับ	กิจกรรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	กิจกรรมที่ 15																															
2	กิจกรรมที่ 4																															
3	กิจกรรมที่ 2																															
4	กิจกรรมที่ 17																															
5	กิจกรรมที่ 14																															
6	กิจกรรมที่ 19																															
7	กิจกรรมที่ 7																															

ภาพที่ 6 ผลการจัดตารางบำรุงรักษาในเดือนมกราคม 2557

ลำดับ	กิจกรรม	เดือนกุมภาพันธ์ 2557																											
ที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
8	กิจกรรมที่ 11																												
9	กิจกรรมที่ 13																												
10	กิจกรรมที่ 9																												
11	กิจกรรมที่ 12																												
12	กิจกรรมที่ 10																												
13	กิจกรรมที่ 3																												
14	กิจกรรมที่ 1																												

ภาพที่ 7 ผลการจัดตารางบำรุงรักษาในเดือนกุมภาพันธ์ 2557



ลำดับ	กิจกรรม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
15	กิจกรรมที่ 6																															
16	กิจกรรมที่ 5																															
17	กิจกรรมที่ 8																															
18	กิจกรรมที่ 16																															
19	กิจกรรมที่ 18																															

ภาพที่ 8 ผลการจัดตารางบำรุงรักษาในเดือนมีนาคม 2557

หมายเหตุ ■ แสดงวันที่กิจกรรมดำเนินการ
■ แสดงวันหยุดประจำปี

5. สรุปผล

บทความนี้นำเสนอวิธีการจัดตารางบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลางด้วยวิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวีภาค ซึ่งประกอบด้วย ขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน หรือ B/C และขั้นตอนที่ 2 การจัดตารางกิจกรรมบำรุงรักษา เพื่อคัดเลือกช่วงเวลาในการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับได้มากที่สุด ดังนี้ $\Gamma_a(t)$ ซึ่งสะท้อนโอกาสที่สามารถลดมูลค่าความเสียหายรวมเนื่องจากไฟดับเมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้น และนำไปใช้ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของวิธีกำหนดการจำนวนเต็มแบบทวีภาค ข้อมูลกายภาพ และสถิติไฟฟ้าขัดข้องปี 2556 ของการไฟฟ้าแห่งหนึ่งได้ถูกนำไปใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อสร้างแผนบำรุงรักษาตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2557 สำหรับ 3 สาย

ป้อนที่มีสถิติไฟฟาดับสูงสุด กิจกรรมบำรุงรักษาที่ได้รับการคัดเลือกมีทั้งหมด 19 กิจกรรม ผลการจัดตารางกิจกรรมบำรุงรักษาทั้ง 19 กิจกรรม ได้มูลค่าความเสียหายที่ลดได้เท่ากับ 6,455,047 บาท และมีค่า B/C เท่ากับ 14.12 เมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษาตามแผนที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชำนาญ ห่อเกียรติ, ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า, กรุงเทพมหานคร: บริษัท ธนภาคพรินติ้ง, 2549.
- [2] วิภาวรรณ สิงห์พริ้ง, การวิจัยดำเนินงาน เล่ม 1, กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541
- [3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2555). การศึกษาอัตราเสียหายเนื่องจากไฟดับ (Outage Cost). [Online]. Available from: http://www.eppo.go.th/outage_cost.pdf.
- [4] Abiri-Jahromi A., Fotuhi-Firuzabad M. and Abbasi E..An Efficient Mixed-Integer Linear Formulation for Long-Term Overhead Lines Maintenance Scheduling in Power Distribution Systems, IEEE transaction in Power Distribution Systems, IEEE transactions on Power Delivery, Vol.24, No.4, 2009, pp.2043-2053.



[5] Conejo A. J., García-Bertrand R. and Díaz-Salazar M., Generation Maintenance Scheduling in Restructured Power Systems, IEEE transaction on Power Systems, Vol20, No.2, MAY 2005, pp.984-992.

[6] Pobporn W., Noohawm O. and Rerkpreedapong D., Reliability Centered Maintenance (RCM) Implementation on PEA Power Distribution Systems: A Case Study of Bang-Pa-In Branch Offices, in GMSARN, 18-20 Dec. 2013

