

การเลือกสถานีเพื่อควบคุมอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง : กรณีศึกษาในเขตภาคเหนือของประเทศไทย

Selection of Station for Control Power System Equipment : Case Study in Northern Region of Thailand

ปริญญ์ กันทะหล้า (Parinya Kantalar)* ดร.คมกฤต เล็กสกุล (Dr.Komgrit Leksakul)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกสถานที่ติดตั้งสถานีควบคุมอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อลดระยะเวลาและบริเวณที่ไฟดับ จากสำนักงานการไฟฟ้า 95 แห่ง และสถานีไฟฟ้าย่อย 38 แห่ง ให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ได้อย่างทั่วถึง โดยอาศัยหลักการการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ของอุปกรณ์ควบคุมสายส่งระยะไกล(Feeder Remote Terminal Unit; FRTU) เพื่อกำหนดสถานที่ตั้ง สถานีสั่งการระบบวิทยุ(Multiple Address Radio System Master; MARS Master) แล้วคำนวณค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบให้น้อยที่สุด ผลการทดสอบพบว่าสามารถคำนวณ ได้สถานีติดตั้ง MARS Master ทั้งหมด 38 สถานี ซึ่งครอบคลุม FRTU ได้ทั้งหมด 692 ชุดทั่ว 6 จังหวัดภาคเหนือ และไม่ต้องเดินสายใยแก้วนำแสงเพิ่ม ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 51,680,000 บาท

ABSTRACT

This research is aimed to select the location for set up station for control power system equipment that can reduce the amount of time that power goes down. from 95 offices of the electricity authority and 38 power substations with minimize the number of SCADA systems installation stations . The principle is to find the optimized FRTU to determine the location of locating the MARS Master station, and then calculate the minimum cost of installation. Test results showed that the Exact Solution is enable to calculate the number of Mars Master as 38 stations. This solution can reduce the 51,680,000 of operational cost without additional wiring fiber optic cable.

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้ากำลัง สถานีไฟฟ้าย่อย สายใยแก้วนำแสง

Key Words: Power system, Power substation, Fiber optic cable

* มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทนำ

ระบบการจ่ายกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นระบบที่อยู่เหนือดิน พาดไปตามแนวถนนทั่วประเทศ จึงอาจเกิดปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องได้เสมอทั้งจาก ต้นไม้ คน สัตว์ รถยนต์ และภัยจากธรรมชาติ เช่น ไฟป่า หรือพายุลมแรง เป็นต้น ซึ่งแต่เดิมการสั่งการและการปฏิบัติการแก้ไขปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้อง จะดำเนินการ โดยจัดส่งเจ้าหน้าที่พร้อมรถแก้ไขกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ออกไปตรวจสอบหาสาเหตุของไฟฟ้าดับ โดยใช้การสั่งการประสานงานทางวิทยุสื่อสาร และโทรศัพท์จากศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าเขต โดยเฉพาะในพื้นที่เมือง ธุรกิจ อุตสาหกรรม ที่ระบบจำหน่ายมีความซับซ้อนหนาแน่นมาก ยากต่อการกำกับควบคุม สั่งการ และตรวจหาสาเหตุ ทำให้ต้องใช้เวลานานในการแก้ไขปัญหาไฟฟ้าดับแต่ละครั้ง ดังนั้น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงได้ตั้งศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า ขึ้นทั้ง 12 เขตทั่วประเทศ และนำระบบ SCADA/DMS เข้ามาใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพการให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ลดระยะเวลาและบริเวณที่ไฟดับ ซึ่งจะทำให้สามารถสั่งการจ่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ

โครงข่ายสื่อสารของระบบ SCADA/DMS ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประกอบด้วยระบบสื่อสารความเร็วสูง (Synchronous Digital Hierarchy; SDH) ผ่านสายเคเบิลใยแก้วนำแสง, ไมโครเวฟ (Digital Microwave Radio Link; DMRL) เชื่อมโยงระหว่างศูนย์สั่งการระบบไฟฟ้า สำนักงานใหญ่ ศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าเขตต่างๆ และสถานีไฟฟ้า ส่วนระบบสื่อสารที่ใช้ในการสั่งการควบคุมอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย ที่ติดตั้งกระจายเป็นบริเวณกว้างจึงต้องการสื่อสารผ่านระบบวิทยุหลายที่อยู่ (Multiple Address Radio System; MARS) โดยมีวิทยุ MARS Master ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการติดต่อกับวิทยุ MARS Remote ที่ติดตั้งอยู่บนเสาในระบบจำหน่ายเรียกว่าอุปกรณ์ FRTU (Feeder Remote Terminal Unit) ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ช่วยทำการปลดสับอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าประกอบไปด้วย โหลด

เบรกสวิตช์ SF₆, AVR และ รีโคสเซอร์ รูปแบบเดิมที่ใช้คนเป็นผู้ปฏิบัติงาน (Manual Operation) ให้สามารถสั่งการโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 1 โหลดเบรกสวิตช์ชนิด SF₆, รีโคสเซอร์ และ AVR

สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคเหนือซึ่งรับผิดชอบการจ่ายไฟฟ้าใน 6 จังหวัด ได้แก่ ลำปาง ลำพูน เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา และแม่ฮ่องสอนได้มีการเปิดใช้ศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า ตั้งแต่วันที่ 5 เมษายน 2553 และเริ่มติดตั้งอุปกรณ์ FRTU ทั้งหมด 6 จังหวัดที่อยู่ในความรับผิดชอบ 692 ชุด ซึ่งจะแล้วเสร็จภายในปี 2554 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้ง สถานี MARS Master เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ดังกล่าว โดย สถานี MARS Master ต้องเชื่อมโยงเคเบิลใยแก้วนำแสงมาที่ศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า

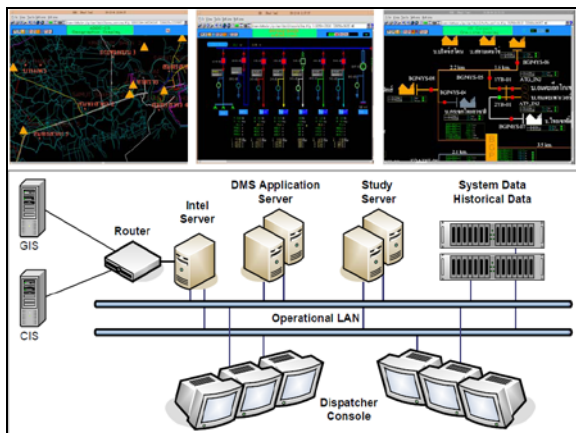
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกจำนวนสถานีและกำหนดสถานที่ติดตั้งจากสำนักงานการไฟฟ้า 95 แห่ง และสถานีไฟฟ้า 38 แห่ง ให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ได้อย่างทั่วถึง โดยอาศัยหลักการการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ของอุปกรณ์ FRTU เพื่อกำหนดสถานที่ตั้ง สถานีสั่งการ MARS Master แล้วคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบให้น้อยที่สุด

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบ SCADA/DMS

1. ระบบควบคุมและประเมินผลแบบศูนย์กลาง (Supervisory Control and Data Acquisition; SCADA)

ระบบ SCADA [1] เป็นระบบซึ่งนำเอาเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์สมัยใหม่มาช่วยในการบริหารและจัดการกระบวนการต่างๆ เมื่อประกอบเข้ากับการสื่อสารอันทันสมัย จะทำให้ระบบควบคุมสามารถทำงานครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ที่ต้องการความมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพ โดยรูปแบบของการจัดระบบการทำงานและการสื่อสารข้อมูลรวม จะใช้สถานีศูนย์ควบคุมกลาง (Master Centralized Control) เป็นตัวควบคุมการสั่งการทั้งหมด การติดต่อสถานีย่อยต่างๆ การรับ-ส่งข้อมูลและการควบคุมจะมีระบบการทำงานเป็นลักษณะสถานีแม่ข่ายและสถานีลูกข่าย (Master-Slave) ลักษณะของระบบ SCADA ในระบบไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงระบบ SCADA ในระบบไฟฟ้า

2. ระบบจัดการการจ่ายไฟฟ้า (Distribution Management System; DMS) [2]

ระบบ DMS เป็นระบบที่ช่วยจัดการในการสั่งการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าภายในสถานีไฟฟ้าและระบบจำหน่าย ในระดับแรงดัน 22 และ 33 กิโลโวลต์ ลงมา เนื่องจากในระบบจำหน่ายประกอบด้วยโหลดหลาย

ประเภท เช่น โหลดประเภท 3 เฟส แบบสมดุล และ 3 เฟส แบบไม่สมดุล รวมทั้งยังมีโหลดประเภทเฟส – เฟส และโหลดแบบเฟสเดียว จึงทำให้ระบบโดยรวมมีความไม่สมดุลโดยธรรมชาติ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองของฟังก์ชันของระบบ DMS เป็นฟังก์ชันที่ทำงานในโหมด Real Time

3. ส่วนประกอบของระบบ SCADA/DMS ประกอบด้วย

(1) ศูนย์สั่งการและควบคุมระบบไฟฟ้ามีหน้าที่หลักในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประมวลผลข้อมูล บันทึกข้อมูลสิ่งผิดปกติในระบบไฟฟ้า สั่งการควบคุมระยะไกล และจัดการสารสนเทศย้อนหลัง

(2) ระบบสื่อสาร แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ไมโครเวฟแบบ Point to Multi-point (TDMA), ไมโครเวฟดิจิทัลแบบ Point to Point (DMRL) และโครงข่ายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber)

(3) อุปกรณ์ระยะไกล เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้า และในระบบจำหน่าย มีหน้าที่ในการรวบรวม และส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้า โดยใช้ระบบสื่อสารเป็นสื่อกลาง อุปกรณ์ระยะไกลที่ใช้ในระบบ SCADA/DMS ประกอบด้วย [3]

- Feeder Remote Terminal Unit (FRTU) เป็นอุปกรณ์ระยะไกลที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่าย

- Substation Remote Terminal Unit (SRTU) เป็นอุปกรณ์ระยะไกลที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้า

- C-SCS Interface เป็นอุปกรณ์ระยะไกลที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าที่มีระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมสถานีไฟฟ้า (C-SCS) ติดตั้งอยู่ก่อนแล้ว

เทคนิคการแก้ปัญหาการครอบคลุมเซต (Set Covering Problem)

ปัญหาการครอบคลุมของเซตเป็นปัญหาของเซตที่ครอบคลุมสมาชิกทุกตัวของปัญหา ที่มีผลรวมของน้ำหนักที่น้อยที่สุด ถ้าหากมองปัญหาดังกล่าวให้อยู่ในรูปของ เมทริกซ์จะกล่าวได้ว่า ปัญหาการครอบคลุมเซตต้องการที่จะครอบคลุมทุก ๆ แถวของเมทริกซ์ 0 – 1

ขนาด m แถว และ n คอลัมน์ ด้วยเซตของคอลัมน์ที่มีน้ำหนักน้อยสุด

โดยให้ X_j ถ้าคอลัมน์ j ถูกเลือกนอกนั้นให้ $X_j=0$ และ C_j คือ น้ำหนักของคอลัมน์ j ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{คือ Min } \sum_{j=1}^n C_j X_j \quad (1)$$

$$\text{ภายใต้เงื่อนไข } \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \geq 1, i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$X_j \in \{0,1\}, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

ในสมการที่ 2 เป็นการบอกว่าแต่ละ คอลัมน์ต้องถูกรวมอย่างน้อย 1 ครั้ง สมการที่ 3 เป็นข้อจำกัดของค่า X_j ถ้าปัญหาการครอบคลุมเซตเป็นปัญหาที่มีน้ำหนักของแต่ละคอลัมน์เท่ากันเราจะเรียกว่า ยูนิคอส (Unicost SCP) [4] การหาพื้นที่ครอบคลุม (Set Covering Problem) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นการเลือกซื้อลดเดอรั่วให้มีโอกาสถูกรางวัลโดยมีความเสี่ยงในการลงทุนและผลตอบแทนต่ำสุด โดยวิธีการปัญหาเชิงเส้น [9] นอกจากนี้ยังสามารถใช้อัลกอริทึมอื่นในการแก้ปัญหาได้ด้วยไม่ว่าจะเป็นการใช้ความคลุมเครือ (Fuzzy) มาใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกพื้นที่ครอบคลุมในประเทศได้หวั่น [5] ในปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นเราสามารถหาพื้นที่ครอบคลุมองค์ประกอบให้มากที่สุดและมีค่าใช้จ่ายคงที่ได้อีก

มีการศึกษาเกี่ยวกับการหาตำแหน่งด้วยวิธีการ Minimax ระยะทางใช้หาจุดที่ครอบคลุมบริเวณที่กำหนดโดยมีจุดน้อยสุด เช่น การหาจุดบริการรถพยาบาลด้วยวิธีการ A-Distance ทำได้โดยการหา Minimum ของ Maximum ระยะทางจากจุดที่สนใจไปยังจุดบริการพยาบาลรวมกับระยะทางจากจุดที่สนใจไปยังโรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุด [6] นอกจากนี้ งานวิจัยในประเทศญี่ปุ่นเกี่ยวกับปัญหา MiniMax Location ซึ่งต้องการตัดสินใจเลือก Facility Location โดยใช้ Farthest Point Votonnoi Diagram และตัดสินใจเลือกสถานที่จาก Degree of Location Freedom เป็นต้น [7]

ปัญหาสถานที่ที่เหมาะสมที่สุด

ปัญหาสถานที่ที่เหมาะสมที่สุด เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) อย่างหนึ่งนั้นจะเลือกจาก

สถานที่ที่เราพิจารณาในการเลือกซึ่งเงื่อนไขต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องโดยพิจารณาจากประโยชน์ที่จะได้รับก่อนพิจารณาหาตัวเลือกที่ให้ผลประโยชน์มาก แล้วจึงพิจารณาความเสียหาย โดยเลือกตัวเลือกที่ให้ความเสียหายน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการนั้นมีอยู่มากมาย ไม่ว่าจะเป็นหาโดยวิธีโดยตรง (Exact Solution) หรือ วิธีการแก้ปัญหาที่ดูเหมือนว่าจะไม่มีแนวทางหรือกฎเกณฑ์ที่ชัดเจนตายตัว (Heuristic)

Minimax เป็นกฎในการตัดสินใจใช้ในทฤษฎีตัดสินใจ (Decision Theory) เพื่อทำให้การสูญเสียที่น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ในขณะที่มีศักยภาพมากที่สุด โดยจะพิจารณาศักยภาพก่อน ส่วนอีกทางเลือกหนึ่งในการตัดสินใจ คือ Maximin นั้นจะพิจารณาจากการสูญเสียที่น้อยสุดก่อนแล้วจึงพิจารณาศักยภาพ [8]

ระบบ SCADA

ระบบควบคุมและประเมินผลแบบศูนย์กลางรวม (SCADA) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเพื่อความรวดเร็วในการทำงานระยะไกลโดยอัตโนมัติ เช่น ใช้งานอุตสาหกรรมโดยสั่งการเครื่องจักรผ่านโทรศัพท์มือถือผ่านระบบ GPRS และ WAP โดยอาศัย สถานีฐาน GSM ที่มีอยู่แล้วเป็นสถานีส่งสัญญาณ ระบบนี้สามารถแสดงผลและควบคุมได้ [9] ยกตัวอย่างเช่น การใช้ระบบ SCADA เพื่อควบคุม AC Servo Motor เพื่อการันตีสมรรถนะและประสิทธิภาพโดยโปรแกรม Matlab และ LabVIEW ประมวลผลด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์ก [10] ในระบบไฟฟ้ากำลังได้นำระบบ SCADA เข้ามาใช้อย่างแพร่หลายเช่นกัน เพื่อให้สามารถปฏิบัติการได้อย่างรวดเร็วและเพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า อีกทั้งเหมาะกับระบบกริดไฟฟ้าอัจฉริยะ SMART GRID ในอนาคตซึ่งจะต้องปฏิบัติการบนระบบ IT ดังนั้นการป้องกันการความปลอดภัยในระบบ IT เป็นกุญแจสำคัญของระบบ และที่สำคัญคือการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งสามารถซื้อและขายไฟฟ้ากับระบบได้ ดังนั้นระบบ SCADA ต้องมีระบบการตรวจสอบคุณภาพไฟฟ้าของการเชื่อมต่อ [12]

การวัดระยะทาง

ระยะทางสำหรับการคำนวณในงานวิจัยนี้ เป็นการวัดระยะทางในการส่งสัญญาณวิทยุจาก สถานี MARS Master ไปยัง อุปกรณ์ FRTU ดังนั้นเราจะใช้การวัดระยะทางแบบ ยูคลิด คือ ระยะทางปกติระหว่างจุดสองจุดในแนวเส้นตรง มีที่มาจากทฤษฎีบทพีทาโกรัส เนื่องจากการวัดระยะทางในปริภูมิแบบยูคลิด คือ ไม่มีความโค้งและไม่สามารถทำให้โค้งงอ และการใช้สูตรนี้วัดระยะทางทำให้กลายเป็นปริภูมิอิงระยะทาง ค่าประจำ (norm) ที่เกี่ยวข้องก็จะเรียกว่าเป็น ค่าประจำแบบยูคลิด (Euclidean norm)

นิยาม

ระยะทางแบบยูคลิดระหว่างจุด p และ q คือความยาวของส่วนของเส้นตรง $\overline{pq}$ ถ้า $p = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ และ $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน เป็นจุดสองจุดบนปริภูมิยูคลิด n มิติ ระยะทางระหว่างจุด p และ q คำนวณได้จาก

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (1)$$

จากนิยามแบบที่สองของระยะทางแบบยูคลิด ถ้าหาก $p = (r_1, \theta_1)$ และ $q = (r_2, \theta_2)$ ในระบบเชิงขั้ว จะสามารถคำนวณระยะทางได้จากสูตรนี้

$$d(p, q) = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)} \quad (2)$$

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประเมินจุดติดตั้งสถานีระบบวิทยุหลายที่อยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในการดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาระบบควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และศึกษาเทคโนโลยีระบบวิทยุหลายที่อยู่ในระบบควบคุมและประเมินผลแบบศูนย์รวม
2. เก็บข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคเหนือ

(1) จำนวนอุปกรณ์ที่จะติดตั้ง FRTU ทั้งหมด ได้แก่ โหลดเบรกสวิตช์ SF₆, AVR และ รีโกลาเตอร์ พร้อมทั้งพิกัดทาง GPS

(2) จำนวนสำนักงานการไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าทั้งหมดซึ่งจะใช้เลือกเป็นที่ติดตั้งสถานีระบบวิทยุหลายที่อยู่ (Mars Master) พร้อมทั้งพิกัดทาง GPS

(3) เส้นทางเดินเคเบิลใยแก้วนำแสง

(4) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสถานี Mars Master 1 สถานี

(5) ค่าใช้จ่ายในการเดินเคเบิลใยแก้วนำแสง

3. แนวทางในการวิเคราะห์ แปลผลการศึกษา

หาจุดติดตั้งสถานีระบบวิทยุหลายที่อยู่โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมอันได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายในการเดินเคเบิลใยแก้วนำแสงต่ำที่สุด และมีเงื่อนไขต่างๆคือ

(1) FRTU ที่ถูกสั่งการโดยสถานี MARS Master จะต้องอยู่ในรัศมี 10 กิโลเมตร

(2) สถานี MARS Master 1 สถานี สามารถสั่งการ FRTU ได้ไม่เกิน 50 ตัว

(3) เลือกติดตั้งที่สำนักงานการไฟฟ้าหรือสถานีไฟฟ้าเท่านั้น

(4) สำนักงานการไฟฟ้าหรือสถานีไฟฟ้าที่ยังไม่มีสายเคเบิลใยแก้วนำแสงต้องเดินสายเคเบิลใยแก้วนำแสงเข้าไปด้วย

(5) ทำการหาค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีการ Exact Solution ด้วยโปรแกรม Lingo

การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไข
 $(x_i, y_i) =$ พิกัด FRTU โดย $i = 1, 2, 3, \dots, M$ (3)
 $(x_j, y_j) =$ พิกัด office ที่จะเลือกมาตั้งสถานีควบคุมได้ โดย $j = 1, 2, 3, \dots, N$ (4)

$$G_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ติดตั้ง FRTU}(i) \text{ ที่ office}(j) \\ 0, & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (5)$$

$$H_j = \begin{cases} 1, \text{เลือก } office(j) \text{ เป็น} \\ \text{MARS Master} \\ 0, \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (6)$$

$$I_{jk} = \begin{cases} 1, \text{พาดสายเคเบิลผ่านแสง } office(j) \\ \text{ไป } office(k) \\ 0, \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (7)$$

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (8)$$

สมการที่ (7) ระยะทางระหว่าง $FRTU(i)$ กับ $office(j)$ ค่าดำเนินการเดินสาย จาก $office(j)$ ถึง $office(k)$

C = ค่าดำเนินการ = 1,360,000 บาท/ 1 สถานี

L = เลขจำนวนมาก

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min}\{C \sum_{j=1}^N H_j + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N F_{jk} I_{jk}\} \quad (9)$$

พจน์ที่ 1 แสดงค่าดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ MARS

Master ทั้งหมด ในทุกสถานี

พจน์ที่ 2 แสดงค่าดำเนินการพาดสายเคเบิลผ่านแสงในทุกลำเส้นทาง

เงื่อนไข

$$\sum_{j=1}^N G_{ij} = 1 \quad \forall i, i = \{1, \dots, M\} \quad (10)$$

$FRTU$ แต่ละตัวถูกควบคุมได้จาก $office$ แห่งเดียว

$$\sum_{i=1}^M G_{ij} \leq 50 \quad \forall j, j = \{1, \dots, N\} \quad (11)$$

สมการที่ (11) $office$ แต่ละแห่ง สามารถควบคุมได้จาก $FRTU$ ได้ไม่เกิน 50 ตัว

$$D_{ij} \times G_{ij} \leq 30 \quad \forall i, i = \{1, \dots, M\} \\ \forall j, j = \{1, \dots, N\} \quad (12)$$

สมการที่ (12) ระยะทางจาก $FRTU(i)$ ไปยัง $office(j)$ มีรัศมีไม่เกิน 30 กิโลเมตร

$$\sum_{i=1}^M G_{ij} \leq L \times H_j \quad \forall j, j = \{1, \dots, N\} \quad (13)$$

สมการที่ (13) เมื่อ $FRTU$ ถูกควบคุมจาก $office(j)$

ใดๆ แล้ว $office(j)$ จะถูกเลือกเป็น MARS Master

$$H_j + H_k \leq 2 \times I_{jk} \quad \forall j, k, j \neq k \\ j, k = \{1, \dots, N\} \quad (14)$$

ตารางที่ 1 แสดงสำนักงานที่ถูกเลือกเป็น MARS Master พร้อมทั้งพิกัดและจำนวน FRTU ที่ควบคุมได้

สมการที่ (14) $office(j)$ ที่ถูกเลือกเป็น MARS Master เลือกพาดสายไป $office(k)$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. เมื่อให้ตัวแปรต้น เป็นพิกัดตำแหน่ง อุปกรณ์ไฟฟ้าและสำนักงานการไฟฟ้าหรือสถานีไฟฟ้า 133 แห่ง

2. ตัวแปรตาม เป็น ค่าดำเนินการติดตั้งสถานีควบคุมทั้งหมด

3. จะเห็นได้ว่าจำนวนสถานีแปรผันตรงกับค่าดำเนินการติดตั้ง ดังนั้นจึงควรตั้งสถานีให้น้อยที่สุด แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

เมื่อทำการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Ling พบว่า ได้ MARS Master ทั้งหมด 38 สถานี จากการสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมด 692 ตัว และไม่ต้องดำเนินการพาดสายเคเบิลผ่านแสงเพิ่มโดยมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 51,680,000 บาท ซึ่งสถานีทั้งหมดนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยตารางที่ 1 แสดง สำนักงานที่ถูกเลือกเป็น MARS Master พร้อมทั้งพิกัดและจำนวน FRTU ที่ควบคุมได้

สรุปผล

จากการประเมินจุดติดตั้งสถานีระบบวิทยุหลายที่อยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พบว่าค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีการ Exact Solution ได้ผลคือ ได้สถานีติดตั้ง Mars Master ทั้งหมด 38 สถานี และไม่ต้องเดินสายเพิ่ม ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 51,680,000 บาท

ลำดับ ที่	สถานี MARS Master	พิกัด UTM Zone 47Q		จำนวน FRTU
		x	y	
1	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคเหนือ	460672.778	2065702.476	50
2	สถานีไฟฟ้าเชียงใหม่ 3	547903.487	2017918.754	50

3	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอสันทราย	504710.075	2087078.737	33
4	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอแม่แตง	486541.849	2110537.411	15
5	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอเชียงดาว	495831.301	2138910.772	12
6	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอจอมทอง	467294.005	2038783.328	13
7	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอฝาง	520829.407	2195532.985	19
8	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคย่อยตำบลบ่อสลิ	433754.680	2005861.255	7
9	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอฮอด	458956.188	2011192.877	11
10	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอแม่อาว	534491.797	2216114.743	7
11	สถานีไฟฟ้าเชิงใหม่ 4	495892.336	2078393.698	21
12	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดเชียงราย	586149.618	2201896.859	39
13	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอแม่จัน	588065.258	2226977.260	15
14	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอแม่สาย	592598.730	2259025.117	15
15	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอเชียงแสน	612822.209	2242497.461	7
16	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอเชียงของ	646755.004	2241881.810	13
17	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอเทิง	626385.394	2178303.305	19
18	สถานีไฟฟ้าแม่ลาว	576404.120	2184292.679	7
19	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอเวียงป่าเป้า	553802.347	2132086.440	7
20	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอแม่สรวย	557122.925	2173886.814	9
21	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอพาน	577336.629	2162303.091	10
22	สถานีไฟฟ้าลำปาง 2	559927.514	2029888.556	35

ตารางที่ 1 แสดงสำนักงานที่ถูกเลือกเป็น MARS Master พร้อมทั้งพิกัดและจำนวน FRTU ที่ควบคุมได้ (ต่อ)

ลำดับ ที่	สถานี MARS Master	พิกัด UTM Zone 47Q		จำนวน FRTU
		x	y	
23	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอห้างฉัตร	537467.161	2026229.124	28
24	สถานีไฟฟ้าเถิน	524936.299	1948426.513	11
25	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าบ้านโฮ้ง	480672.793	2027670.053	7
26	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าลำพูน 3	502751.601	2049886.340	41
27	สถานีไฟฟ้าลำพูน 4	503973.097	2055568.361	25
28	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สถานีไฟฟ้าลี่	492482.519	1971855.387	8
29	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอแม่สะเรียง	387306.744	2010764.431	17
30	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดแม่ฮ่องสอน	391352.950	2136008.071	22
31	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอขุนยวม	387865.886	2081516.577	4
32	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอปาย	440577.615	2140620.847	4
33	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอจุน	618401.517	2139161.055	5

34	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอโป่ง	634058.983	2117895.500	4
35	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอเชียงคำ	637570.628	2159753.975	8
36	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดพะเยา	591914.244	2123048.018	29
37	สถานีไฟฟ้าเชียงใหม่	500939.467	2075142.870	43
38	สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอแม่ทะ	554326.202	2005245.208	22

เอกสารอ้างอิง

- [1] วัฒนา สุนทรานุรักษ์. 2548. การป้องกันไฟฟ้าสำหรับระบบ SCADA. ค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2554 จาก [http:// www.oppo.co.th](http://www.oppo.co.th)
- [2] Tony Strasser. 2010. Distribution Management Systems. ค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2554 จาก <http://www.skmconsulting.com>
- [3] Kang, D.J. et al. 2009. Proposal strategies of key management for data encryption in SCADA network of electric power systems. Electrical Power and Energy Systems.
- [4] Mauricio, et al. 2002. A parallel genetic algorithm to solve the set-covering problem. Computers & Operations Research, 29, 1221 – 1235.
- [5] Raf and Zeger. 2008. A note on a symmetrical set covering problem: The lottery problem. European Journal of Operational Research, 186, 104–110.
- [6] Ching, et al. 2005. An Alternative Formulation For Certain Fuzzy Set-Covering Problems. Mathematical and Computer Modeling, 42.
- [7] Tatsuo and Hiroaki. 1998. Minimax Location Problem with A Distance. Operations Research Society of Japan, 41, 2.
- [8] Yoshiaki and Akafumi. 1997. Degree of Locational Freedom in a Single Facility Euclidean Minimax Location Model. Louirb,r Scwrce, 5.
- [9] Tom et al. 2007. A heuristic algorithm for minimax sensor location in the plane. European Journal of Operational Research, 183, 42–55
- [10] Ozdemir, E. and Karacor, M. 2006. Mobile phone based SCADA for industrial automation. ISA Transactions, 67–75.
- [11] Jui-Hong, H. 2008. Hybrid MATLAB and LabVIEW with neural network to implement a SCADA system of AC servo motor. Advances in Engineering Software, 39, 149–155.
- [12] Bobbio, A., et al. 2010. Unavailability of critical SCADA communication links interconnecting a power grid and a Telco network. Reliability Engineering and System Safety, 95, 1345–1357.