

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการจัดสรรตำแหน่งในการวิเคราะห์ กำหนดที่ตั้งสถานีไฟฟ้า และวางแผนระบบสายจำหน่าย

Application of Location Allocation Model for Substation Siting and Feeder Planning

สุภาวดี อินทแสง¹ และ ชรินทร์ ทินนโชติ²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาเบื้องต้นของการออกแบบพัฒนาและทดลองประยุกต์ใช้แบบจำลองการวิเคราะห์ความต้องการและกำหนดที่ตั้งตำแหน่งสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต โดยเริ่มจากการวิเคราะห์พยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคตในพื้นที่ต่าง ๆ ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แล้วสังเคราะห์เป็นข้อมูลโหลดไฟฟ้าในอนาคตของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม รวมทั้งกำหนดตำแหน่งจุดความต้องการไฟฟ้าใหม่เพิ่มลงในโครงข่ายระบบไฟฟ้าที่มีอยู่ นำข้อมูลโครงข่ายและจุดตำแหน่งโหลดในอนาคตที่ได้มาวิเคราะห์จัดสรรโหลดไฟฟ้าที่ออกจากสถานีไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมตามเงื่อนไขหลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้าของ กฟภ. และเงื่อนไขของระบบสายจำหน่ายที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด และในกรณีที่โหลดรวมในอนาคตเกินขีดความสามารถของสถานีไฟฟ้าเดิมก็ทำการวิเคราะห์จัดสรรจัดวางตำแหน่งของสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ รวมทั้งวิเคราะห์จัดสรรเส้นทางระบบจำหน่ายไฟฟ้าของแต่ละสถานีไฟฟ้าใหม่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ได้ทำการออกแบบพัฒนาแบบจำลองตามขั้นตอนดังกล่าว และทดลองดำเนินการวิเคราะห์กับข้อมูลจริงเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้และถูกต้องของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น รวมทั้งเพื่อพัฒนาเป็นกระบวนการขั้นตอนของการดำเนินงานด้าน GIS ที่เกี่ยวข้อง โดยในงานวิจัยใช้ชุดโปรแกรม ArcGIS เวอร์ชัน 9.1 เป็นเครื่องมือ ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และหน่วยงานอื่นที่มีลักษณะภารกิจที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนพัฒนาระบบจำหน่ายให้บริการทรัพยากรผ่านระบบโครงข่าย เพื่อนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องต่อไป

คำสำคัญ : การวิเคราะห์กำหนดตำแหน่งสถานีไฟฟ้า, การวิเคราะห์เชิงโครงข่าย, การจัดสรรพื้นที่บริการ, การวางแผนขยายระบบจำหน่าย, การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเชิงพื้นที่

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงโครงข่าย (Network analysis) เป็นลักษณะการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ประเภทหนึ่งใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นเส้นเชื่อมโยงเป็นโครงข่าย เช่น ถนน เส้นทางน้ำ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบท่อประปา เป็นต้น การหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดสองจุดบนโครงข่าย การหาเส้นทางที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในการส่งของให้ลูกค้าหลาย ๆ ราย หรือการหาขอบเขตของพื้นที่ที่จะเดินทางไปถึงในระยะเวลาต่าง ๆ กัน (travel time analysis) ต่างก็เป็นการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงโครงข่ายที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ก็คือการวิเคราะห์จัดสรรจัดวางตำแหน่งของทรัพยากรในโครงข่าย (Network Resource Allocation) ซึ่งหมายถึงการวิเคราะห์เพื่อจัดสรรตำแหน่งที่ดีที่สุดของจุดกระจายทรัพยากรหนึ่งแห่งหรือมากกว่าในโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพ

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นอีกหนึ่งหน่วยงานที่ได้มีการดำเนินการพัฒนาด้าน GIS มาเป็นเวลานาน และได้มีการจัดทำข้อมูลระบบไฟฟ้าในระดับแรงสูง และแรงกลางไว้แล้วเป็นส่วนใหญ่ ปัจจุบัน กฟภ. อยู่ระหว่างดำเนินการพัฒนาระบบ AM/FM/GIS ตามโครงการพัฒนาระบบแผนที่ระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ ระยะที่ 2 ซึ่งจะมีการจัดทำฐานข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าถึงระดับแรงดันต่ำ อนึ่งเนื่องจาก กฟภ. มีความรับผิดชอบในการวางแผนจัดการระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ซึ่งมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น

ตลอดเวลาตามการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ดังนั้น กฟภ. จึงมีภารกิจในการวิเคราะห์ วางแผน จัดสร้างสถานีไฟฟ้าใหม่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนหลายแห่งในแต่ละปี และมีความต้องการที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยี GIS มาช่วยสนับสนุนในภารกิจดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงกำหนดวัตถุประสงค์ไว้เพื่อศึกษาแบบจำลอง และเทคนิคการวิเคราะห์จัดสรรจัดวางตำแหน่งของทรัพยากรในโครงข่าย มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ขีดความสามารถในการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าเดิมเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟที่เพิ่มขึ้น คัดเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ รวมทั้งการวิเคราะห์จัดสรรไฟฟ้าตามระบบจำหน่ายหลังจากเพิ่มสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่แล้วอีกด้วย

แนวทางการดำเนินการประยุกต์ใช้ GIS กับ การวางแผนระบบจำหน่าย

ในกระบวนการศึกษานี้ได้พิจารณาเงื่อนไขของความต้องการกระแสไฟฟ้า หรือที่เรียกว่าโหลด (Load) ทางไฟฟ้าในอนาคต ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในภูมิศาสตร์ ซึ่งลักษณะการพยากรณ์โหลดเชิงพื้นที่ (Spatial load forecast) โดยการวิเคราะห์ย้อนทับข้อมูลปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของการใช้ไฟ 3 ปีจวบได้แก่แผนที่พื้นที่แนวกั้นชนรอบแนวถนน แผนที่โซนประเภทผู้ใช้ไฟซึ่งจำแนกจากลักษณะการใช้ที่ดิน และแผนที่ขอบเขตพื้นที่ผังเมือง ได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลเชิงราสเตอร์ที่บรรจุค่าโหลดที่จะเกิดขึ้นในแต่ละกริดเซลล์ ข้อมูลโหลดทางไฟฟ้างกล่าวว่าจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อการพิจารณาขีดความสามารถของ

สถานีไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมว่าเพียงพอที่จะรองรับได้หรือไม่

เมื่อพบว่าโหลดไฟฟ้าในอนาคตเกินขีดความสามารถของสถานีไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม ก็จะเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์กำหนดที่ตั้งสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ ซึ่งทำได้ใน 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนที่หนึ่ง วิเคราะห์ความสามารถในการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าเดิมที่มีอยู่โดยวิเคราะห์กระจายออกไปในแต่ละสายจำหน่ายจนถึงตำแหน่งที่ค่า Voltage drop เกินเกณฑ์ หรือค่าการจ่ายกระแสไฟฟ้าสะสมเกินเกณฑ์กำลังของหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้า ขั้นตอนที่สองคือการนำเอาตำแหน่งโหลดที่เหลือที่เกินขีดความสามารถในการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม มาวิเคราะห์จัดกลุ่มและหาตำแหน่งศูนย์กลางโหลด (center of load) ของแต่ละกลุ่ม เพื่อใช้เป็นตำแหน่งทางเลือกของสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ ขั้นตอนที่สามคือการทดลองวิเคราะห์จัดสรรการจ่ายไฟใหม่ โดยนำเอาสถานีไฟฟ้าใหม่ทางเลือกต่าง ๆ เข้าร่วมในการวิเคราะห์ โดยพิจารณาผลการจัดสรรการจ่ายไฟใหม่ว่าตำแหน่งของสถานีไฟฟ้าใหม่ทางเลือกใดที่ทำให้ความสามารถในการรองรับโหลดของสถานีไฟฟ้าทั้งหมดในพื้นที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ผลการวิเคราะห์จะถูกใช้ในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งของสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ พร้อมทั้งแผนการจัดสรรระบบจำหน่ายไฟฟ้าใหม่ด้วย

แนวคิดดังกล่าวเป็นแนวคิดเดียวกับแนวคิดในการหาทำเลที่ตั้งของระบบส่งจ่ายความสะดว โดยพิจารณาค่าความต้องการ (demand) มากที่สุด เป็นข้อกำหนดในการจัดสรร

พื้นที่ให้บริการของสิ่งอำนวยความสะดวกนั้น โดยหาตำแหน่งสำหรับจุดกระจายทรัพยากรที่มีค่าความต้องการรวมมากที่สุด (maximum total demand) ที่จะรองรับได้ ซึ่งมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับการวางแผนระบบไฟฟ้า ที่มีสถานีไฟฟ้าเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการจ่ายไฟไปยังหม้อแปลงระบบจำหน่าย

การศึกษานี้ข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดัน 22 กิโลโวลต์ (เควี) ในการวางแผนระบบจำหน่ายโดยที่

- สถานีไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้า (source)
- ตำแหน่งหม้อแปลงจำหน่ายเป็นจุดโหลดความต้องการ (load demand)
- โครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 เควี (line)

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลระบบจำหน่ายในพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักงานการไฟฟ้าจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของสำนักงานการไฟฟ้าเขตภาคกลาง 1 โดยเป็นข้อมูลจากระบบ GIS ปัจจุบันของ กฟภ. ตามรูปที่ 1

ในการวิจัยครั้งนี้ จะสมมติสถานการณ์ความต้องการไฟฟ้าในอนาคตที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก เพื่อให้เกินขีดความสามารถของสถานีไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม ทำให้จำเป็นต้องมีการหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีไฟฟ้าใหม่มารองรับโหลดดังกล่าว และจำเป็นต้องมีการจัดสรรโหลดทั้งหมดในพื้นที่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเป็นการวางแผนสายระบบจำหน่ายไฟฟ้านั่นเอง

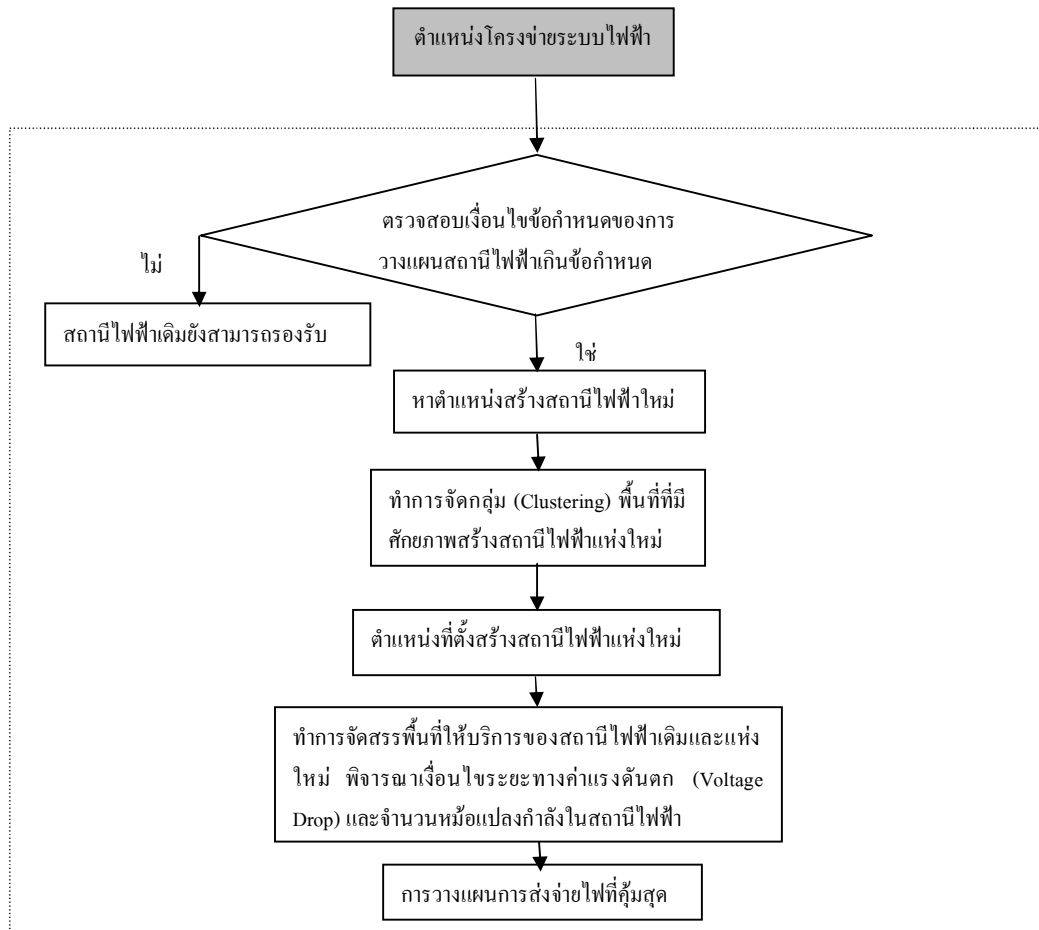


รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 เควี ของ กฟภ. ที่ใช้ในการศึกษา

วิธีการกระบวนศึกษาสำหรับการวางแผน ระบบจำหน่ายและสถานีไฟฟ้าใหม่

กระบวนการศึกษา ประกอบด้วย การตรวจสอบและจัดเตรียมข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22 เควีของ กฟภ. ตามรูปที่ 2 โดยทำการพยากรณ์ค่าโหลดไฟฟ้าในอนาคตของหม้อแปลงระบบจำหน่าย นำมาวิเคราะห์หาพื้นที่ให้บริการ (Service Area) ของสถานีไฟฟ้าเดิมที่มีอยู่ ซึ่งหมายถึงพื้นที่ที่

สถานีไฟฟ้าที่มีอยู่แต่ละสถานีสามารถจ่ายไฟได้ตามเงื่อนไขของค่าแรงดันตก (Voltage drop) ซึ่งได้ค่าจากสมการประมาณค่าแรงดันตก แล้วจึงตรวจสอบรวมค่าพิกัดหม้อแปลงรวมในพื้นที่เปรียบเทียบกับกำลังของหม้อแปลงของสถานีไฟฟ้า จากนั้นวิเคราะห์ระบุตำแหน่งโหลดที่อยู่นอกพื้นที่ให้บริการ นำมาวิเคราะห์กำหนดตำแหน่งทางเลือก และขนาดของสถานีไฟฟ้าใหม่ วิเคราะห์วางแผนสายระบบจำหน่าย แล้วประมาณค่าใช้จ่ายของสายระบบจำหน่าย



รูปที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

**การตรวจสอบเงื่อนไขระบบไฟฟ้าตามคู่มือ
หลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้าของ
กฟภ.**

ในการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ข้อมูล จำเป็นต้องทราบถึงหลักเกณฑ์ เงื่อนไขต่าง ๆ ในการวางแผนระบบไฟฟ้าของ กฟภ. โดยหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับงานศึกษานี้มีดังนี้

➢ **หลักเกณฑ์ข้อกำหนดในการวางแผนของ
สถานีไฟฟ้า**

- ขนาดโหลดและขีดความสามารถ (capacity) ของหม้อแปลงกำลัง

(power transformer) ภาระโหลดสูงสุดของหม้อแปลงกำลัง และจำนวนวงจรแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์ข้อกำหนดขีดความสามารถของหม้อแปลงกำลัง และจำนวนวงจรในสถานีไฟฟ้า

ขนาดพิกัด หม้อแปลง (MVA)	โหลดสูงสุด (MVA)	จำนวนวงจร สูงสุด (วงจร)
1x25	19	5
2x25	38	10
1x50	38	5
2x50	75	10

- ขนาดพิกัดสูงสุดของหม้อแปลงกำลังแต่ละเครื่องไม่เกิน 50 MVA
- จำนวนหม้อแปลงกำลังใน 1 สถานีไฟฟ้ามีได้สูงสุดไม่เกิน 2 เครื่อง
- จำนวนวงจรสูงสุดที่จ่ายออกจากหม้อแปลงกำลังแต่ละลูกไม่เกิน 5 วงจร
- ในกรณีติดตั้งหม้อแปลงกำลังเครื่องเดียว โหลดของหม้อแปลงที่สถานีไฟฟ้าไม่เกิน 75% ของพิกัด เพื่อให้สามารถรองรับโหลดของสถานีข้างเคียงได้ 25%

➢ หลักเกณฑ์ข้อกำหนดของสายจำหน่าย 22 เค.วี

- พิจารณาเป็นแบบเรเดียล มีสายเดียวเชื่อมระหว่างจุดโหลด
 - เงื่อนไขแรงดันตก (voltage drop constraints) ค่าแรงดันที่จุดโหลดต้องมีค่าอยู่ไม่มาก กว่าหรือต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันระบบ (22 kV) คือระดับแรงดันที่บัส i ใดๆ ต้องไม่สูงหรือต่ำกว่า 5 % ของแรงดันปกติ (nominal voltage) เป็นการวัดค่าของ drop ที่ออกจากสถานีไฟฟ้ามายังหม้อแปลงวัดที่ตำแหน่งปลายทาง แรงดันต้องไม่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันที่ออกจากต้นทาง
- $$0.95 \leq V_i \leq 1.05 \text{ Per Unit} \quad (1)$$
- ค่าแรงดันตก (Voltage Drop) พิจารณาแปรผันตามระยะทาง ระยะทางไกลมาก ค่าแรงดันตกจะมีค่ามากขึ้น ระยะใกล้แรงดันตกก็จะลด

น้อยลง ตามระยะทางของสายจำหน่ายจำหน่าย ซึ่งได้จากการคำนวณวิเคราะห์ค่าโดยประมาณเท่านั้น สูตรที่ใช้ในการคำนวณแรงดันตกในสายจำหน่าย ดังนี้

$$\% \Delta V = \left[\frac{S}{V_{nom}^2} \right] \times L \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่ $\% \Delta V$ = เปอร์เซ็นต์แรงดันตก; S = ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่โหลดในสายจำหน่าย (MVA); L = ความยาวของสายจำหน่ายระหว่างจุด 2 จุด (km); R = ค่าความต้านทานรีซิสแตนซ์ของสาย (Ω /km); X = ค่าความต้านทานรีแอ็กแตนซ์ของสาย (Ω /km); E = มุมของตัวประกอบกำลัง (Power factor กำหนดให้มีค่า = 0.85); และ V_{nom} = แรงดันระบบ (kV)

- ค่าใช้จ่ายของความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายจำหน่าย (feeder) โดยค่าใช้จ่ายการก่อสร้างสายใหม่ขึ้นกับความยาวของสายจำหน่ายและขนาดสายจำหน่าย สำหรับตัวแปรค่าใช้จ่ายของแต่ละสายจำหน่ายค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ

$$P_{loss} = I^2 R L \quad (3)$$

$$P_{cost} = P_{loss} \times UC \times 8760 \quad (4)$$

โดยที่

P_{loss} = ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของค่ากำลังจริง (Loss of real power)(kW)

P_{cost} = ค่าใช้จ่ายของความสูญเสีย (Cost of losses)(Bath)

I = ค่ากระแสไฟฟ้าในสายจำหน่าย (Current of feeders)(amp)

R = ค่าความต้านทานของสายจำหน่ายต่อวงจร
กิโลเมตร (Resistance of feeders) (Ω /km)

L = ความยาวของสายจำหน่าย (Length of
feeder) (km)

UC = ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (Unit
cost) (Bath/kWh)

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด จะรวมค่าก่อสร้างสถานีรวมกับ
ค่าก่อสร้างสายจำหน่าย (Feeder) เป็นค่า fixed
cost ของสถานีไฟฟ้า และค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้า
ในแต่ละสายจำหน่ายเป็นตัวแปรค่าใช้จ่ายแปรผัน
จากการคำนวณข้างต้น โดยพิจารณาที่ค่าใช้จ่าย
ต่ำสุดของแต่ละสายจำหน่าย

> หลักเกณฑ์ข้อกำหนดของหม้อแปลงจำหน่าย ระบบแรงดัน 22 เควี

- หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่าย
ของ กฟภ. : แบ่งออกเป็น 2
ลักษณะ ได้แก่
 - หม้อแปลง 1 เฟส ซึ่งมีขนาด 30 kVA
 - หม้อแปลง 3 เฟส ซึ่งมีขนาด 50,100,160,250
kVA
- หลักเกณฑ์การติดตั้งหม้อแปลง
จำหน่าย (Distribution Transformer)
ดังนี้

1. จัดความสามารถ กระจายไฟ
ปกติโหลดสูงสุดของหม้อแปลง
จำหน่ายไม่เกิน 80% ของพิกัด
2. ตำแหน่งที่ติดตั้งหม้อแปลงจำ
หน่าย ต้องตั้งใกล้ศูนย์กลาง
โหลดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ผลการศึกษา

1. การศึกษาวิเคราะห์แผนที่แนวโน้มการเพิ่มขึ้น ของโหลดความต้องการไฟฟ้า

ในการศึกษานี้จะพิจารณาระดับจุลภาค ซึ่ง
เป็นการพยากรณ์แต่ปริมาณความต้องการไฟฟ้า
เท่านั้น หากได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมโดยใช้วิธี
พยากรณ์แบบ Grid System แล้วนำข้อมูลโหลดที่
พยากรณ์ได้มาเก็บเป็นข้อมูลประเภทผู้ใช้ไฟแยก
ตามแต่ละประเภท ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ความต้องการ
ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น มีด้วยกัน 2 สาเหตุ คือ มีผู้ใช้ไฟฟ้า
รายใหม่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสาเหตุหลัก เช่น มี
สิ่งก่อสร้างใหม่ และการที่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิมมีการ
ใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า
ในสถานีระยะยาวสัมพันธ์กับค่าผลิตภัณฑ์มวลรวม
(Gross Region Product:GRP) ซึ่งสามารถใช้คาด
จำนวนปีที่กำลังไฟฟ้าจะเพิ่มจนถึงพิกัด กำลังไฟฟ้า
ของสถานีไฟฟ้าได้

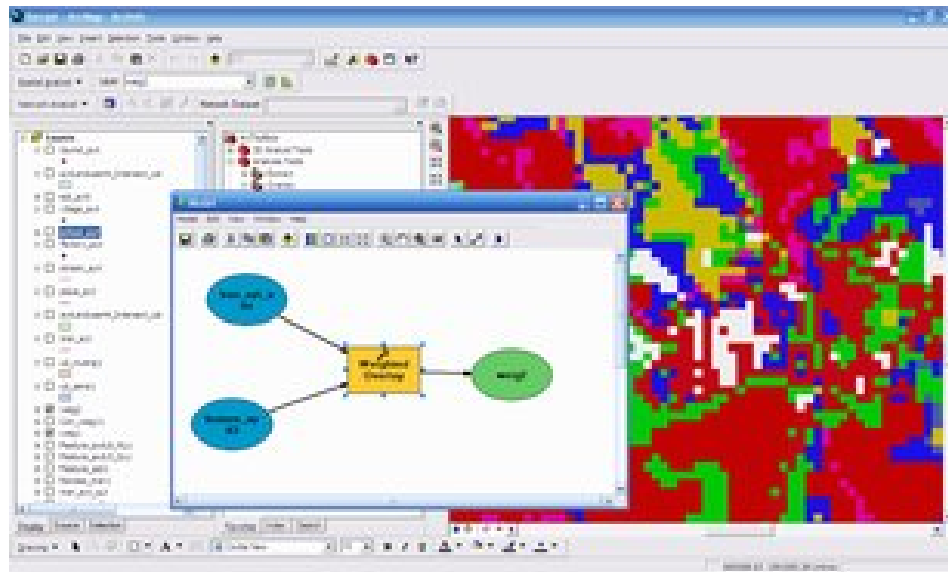
การแบ่งพื้นที่ในการวางแผนระบบไฟฟ้า
จะจำแนกตามความสำคัญของโหลด เพื่อกำหนด
แนวทางการวางแผนและการลงทุนในแต่ละพื้นที่ที่
มีความสำคัญแตกต่างกันดังนี้

- ก. พื้นที่ 1 เป็นพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมและ
พื้นที่อุตสาหกรรม
- ข. พื้นที่ 2 เป็นพื้นที่เทศบาลนคร พื้นที่เมือง
ธุรกิจ พื้นที่เมืองสำคัญและพื้นที่พิเศษ
- ค. พื้นที่ 3 เป็นพื้นที่เมืองทั่วไป พื้นที่เทศบาล
เมือง
- ง. พื้นที่ 4 เป็นพื้นที่เทศบาลตำบล
- จ. พื้นที่ 5 เป็นพื้นที่ชนบท

แล้วทำการ Overlay ด้วยคำสั่ง Overlay ใน
ชุดคำสั่ง Spatial Analysis ใน ArcToolbox นำ

ข้อมูลทำการประมวลผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หา
พื้นที่แนวโน้มน้ำที่มีศักยภาพการเกิดความต้องการ

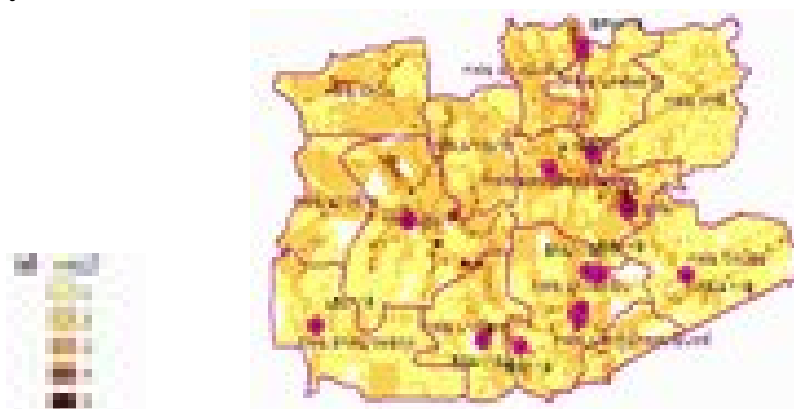
จุดโหลดตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Overlay ด้วยเครื่องมือ Model builder

ผลพื้นที่ที่ได้จากการวิเคราะห์พื้นที่
ศักยภาพการเกิดโหลดใหม่ขึ้น แบ่งจำแนกตาม
ความเหมาะสมเป็น 5 ระดับ ตามลักษณะประเภท
ผู้ใช้ไฟจากน้อยถึงมาก จากวิเคราะห์พบว่าผล
ระดับที่ 1 จะมีการเพิ่มของความต้องการโหลด
ไฟฟ้าน้อย จะเป็นผู้ใช้ไฟในบริเวณพื้นที่เขต

ชนบท ส่วนพื้นที่ที่มีแนวโน้มน้ำการเกิดโหลดสูง
ระดับ 5 นั้นจะมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง เป็น
บริเวณพื้นที่เขตนิคม อุตสาหกรรมและชุมชน
เมือง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการศึกษาแนวโน้มน้ำการเพิ่มขึ้นของโหลด

2. การวิเคราะห์แรงดันตก (Voltage drop Analysis)

ตามเงื่อนไข Voltage Drop จากการศึกษาพบว่า เราสามารถทำการคำนวณค่าแรงดันตกโดยประมาณซึ่งก็คือค่ากำลังของไฟฟ้าในสายจำหน่ายด้วยค่ารวมของค่าพิกัดหม้อแปลงในแต่ละสายจำหน่าย ที่ออกไปจากสถานีไฟฟ้า V nom (ค่าแรงดันระบบปกติมีค่า 22 kV) คูณกับระยะทางของที่ต้องการวิเคราะห์กับค่าพารามิเตอร์ของสายช่วงที่ต้องการศึกษา ค่าที่

ได้ทำการตรวจสอบค่าแรงดันในสาย (V) จะต้องไม่ต่ำกว่าแรงดันปกติเกิน 5% ซึ่งในกรณีสายจำหน่าย 22 kV ค่า V ต้องไม่ต่ำกว่า 20.9 kV ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์แรงดันตกที่สถานีไฟฟ้า BIC115 ซึ่งมีหม้อแปลงสถานี 2 เครื่อง ขนาดเครื่องละ 50 MVA กำลังไฟฟ้ารวม 100 MVA ตามเงื่อนไขการจ่ายไฟไม่เกิน 75% ของกำลังรวมทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนหม้อแปลงจำหน่ายที่รับไฟจากสถานีดังกล่าวรวมทั้งสิ้น 104 เครื่อง รวมค่าพิกัดติดตั้ง 47.2 MVA ดังแสดงในตารางที่ 2

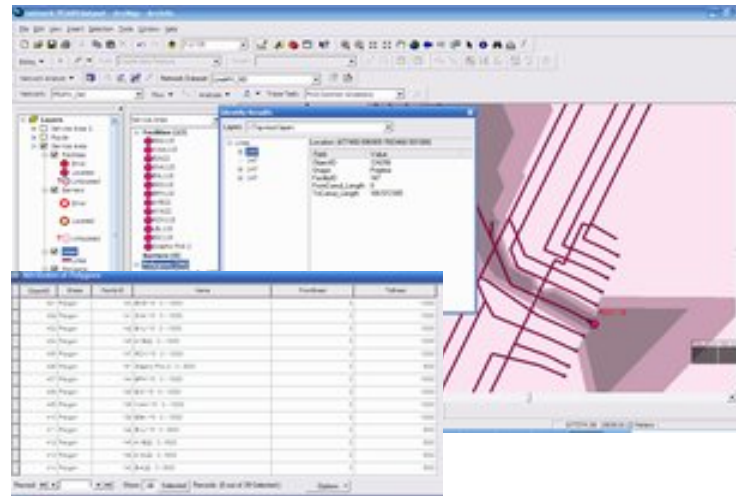
ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการคำนวณค่าแรงดันตก (V) โดยประมาณในแต่ละสายจำหน่าย

OBJECTID	DS_CKT	PEA_NO	INDXCODE	NOMKVA	PHASES	FEEDERID	STATUS	CB_ID	INT_RAT	CONT_RAT	V
1	86653	34-005211	XFCIXXX	30	BC	BIC01	1		0	0	0.000000000000
2	38692	39-005346	XFPIXXX	160	ABC	BIC02	1		0	0	21.090000000000
3	39206	41-008594	XFCIXXX	50	ABC	BIC02	1		0	0	21.083000000000
4	39833	45-022851	XFPIXXX	160	ABC	BIC02	1		0	0	21.081000000000
5	39859	32-010317	XFCIXXX	315	ABC	BIC02	1		0	0	21.124000000000
6	39885	40-023874	XFCIXXX	50	ABC	BIC02	1		0	0	21.081000000000
7	39945	40-002666	XFCIXXX	500	ABC	BIC02	1		0	0	21.115000000000
8	39979	41-000010	XFCIXXX	400	ABC	BIC02	1		0	0	21.108000000000
9	39996	22-005760	XFCIXXX	160	ABC	BIC02	1		0	0	21.112000000000
10	40010	35-003566	XFPIXXX	160	ABC	BIC02	1		0	0	21.175000000000
11	40039	32-010316	XFCIXXX	315	ABC	BIC02	1		0	0	21.109000000000
12	40049	36-001624	XFCIXXX	1250	ABC	BIC02	1		0	0	21.109000000000
13	40126	32-010316	XFCIXXX	315	ABC	BIC02	1		0	0	21.178000000000
14	40219	33-006659	XFCIXXX	160	ABC	BIC02	1		0	0	20.915000000000
15	40259	33-005070	XFCIXXX	100	ABC	BIC02	1		0	0	20.916000000000
16	40513	36-012355	XFPIXXX	30	CA	BIC02	1		0	0	21.171000000000
				ABC					0	0	

3. ผลการวิเคราะห์การจัดสรรตำแหน่งที่ตั้งสถานีไฟฟ้าและการวางแผนระบบจำหน่าย

การหาพื้นที่ให้บริการของสถานีไฟฟ้าทำโดยใช้ชุดคำสั่ง Network Analysis ของซอฟต์แวร์ ArcGIS 9.1 โดยเป็นการสะสมค่า

ระยะทางออกไปทุกเส้นทางที่เลือกไว้จากจุดเริ่มต้นภายในระยะที่กำหนดของ Polygon ตามระยะที่ตั้งกำหนดตามพิกัดของสถานีไฟฟ้าพื้นที่ให้บริการ Generate Line และ Polygon ออกจากสถานีไฟฟ้าไปยังจุดโหนดแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงผลการ Trace ของสายไฟออกจากสถานีไฟฟ้า

➤ การวิเคราะห์พื้นที่ให้บริการของสถานีไฟฟ้า
พื้นที่ให้บริการ ของจุดโหลดเดิม
(Existing load) ครอบคลุมพื้นที่ที่ให้บริการของ

สถานีไฟฟ้าแต่ละแห่งจากฐานข้อมูลที่มีปัจจุบัน
แสดงดังรูป 6 และปริมาณรวมค่าโหลดที่มีของแต่ละ
สถานีไฟฟ้าตามตารางที่ 3



รูปที่ 6 ตำแหน่งโหลดหม้อแปลงไฟฟ้า

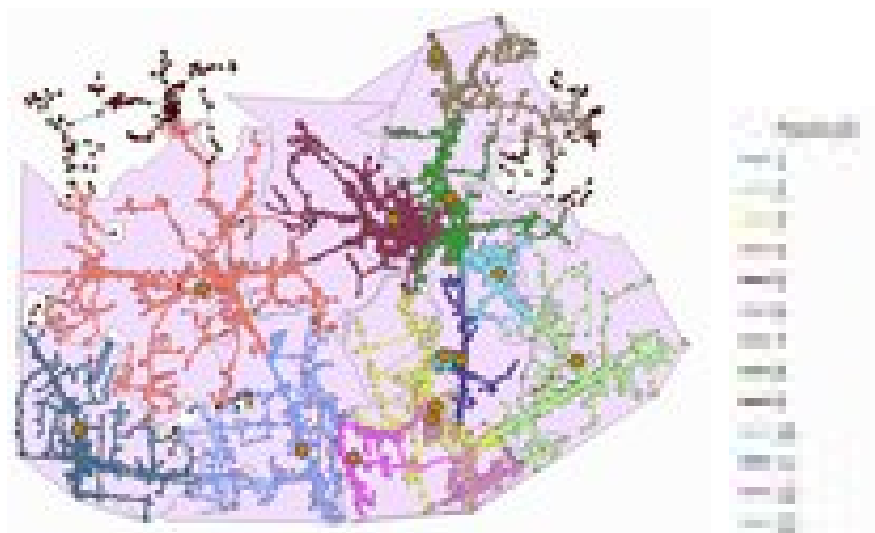
ตารางที่ 3 แสดงจำนวนและค่าโหลดรวมหม้อแปลงไฟฟ้าของแต่ละสถานี

ชื่อสถานี	จำนวนหม้อแปลง	ค่ารวมแรงดันปกติ (KVA)
AYA	729	73,220
AYB	636	69,390
BIA	584	60,620
BIB	94	20,930
BIC	371	54,340
BKS	195	49,610
BNL	125	26,760
BPH	453	56,040

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อสถานี	จำนวนหม้อแปลง	ค่ารวมแรงดันปกติ (KVA)
BSA	474	47,480
LBL	261	19,840
RCN	268	57,950
SNA	892	70,070
WAA	691	61,410

เมื่อทำการเพิ่มปริมาณโหลดขึ้นทำให้การรองรับโหลดของสถานีตามเงื่อนไขไม่ครอบคลุมและทำให้เกิดโหลดอยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมให้บริการของสถานีได้ ดังภาพที่ 7



รูปที่ 7 กรณีเพิ่มขยายโหลดหม้อแปลงขึ้น

การจัดกลุ่มความหนาแน่นของโหลดด้วยชุดคำสั่ง Center mean ของฟังก์ชัน Spatial analysis เพื่อเป็นจุดทางเลือกในการสร้างตำแหน่งจุดที่ตั้งสถานีใหม่กำหนดตำแหน่งที่ตั้งสถานีใหม่ New location ด้วยชุดฟังก์ชันเพื่อ run พื้นที่ให้บริการใหม่

➤ ผลการตรวจสอบตามเงื่อนไขการวางแผนระบบไฟฟ้า

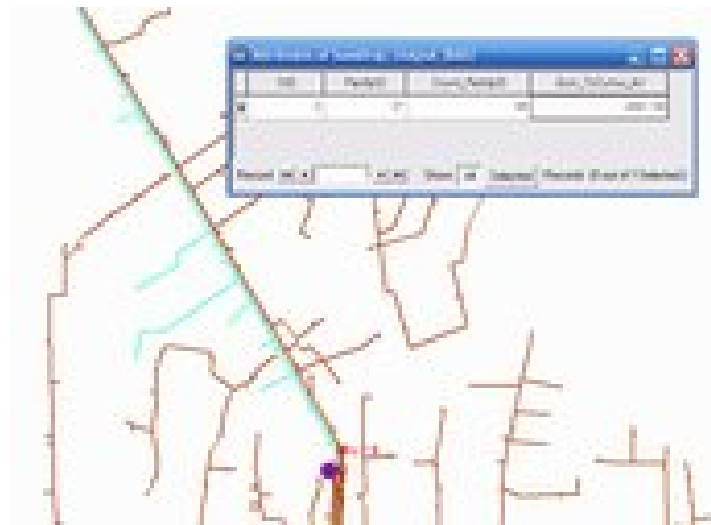
1. แรงดันตกปลายสายไม่ต่ำกว่า 20.9 kV ตรวจสอบแรงดันตกที่ปลายสาย ค่าแรงดันตกไม่เกิน 5 % = $0.95 \times 22 = 20.9$ kVA โดยรวมค่าของสถานีไฟฟ้าจากการรวมค่าของ Σ ที่รวมค่ามาจากช่วงสาย ซึ่งการสะสมค่าเป็นไปตามค่าของระยะทางของพื้นที่ให้บริการตามเงื่อนไขได้ค่าดังรูปที่ 8

Node	Voltage (kV)	Power (kW)	Power (kVA)	Power (MVA)
1	22.000	1.000	1.000	1.000
2	22.000	1.000	1.000	1.000
3	22.000	1.000	1.000	1.000
4	22.000	1.000	1.000	1.000
5	22.000	1.000	1.000	1.000
6	22.000	1.000	1.000	1.000
7	22.000	1.000	1.000	1.000
8	22.000	1.000	1.000	1.000
9	22.000	1.000	1.000	1.000
10	22.000	1.000	1.000	1.000

รูปที่ 8 ผลลัพธ์จากการ Trace

ตัวอย่างกรณีการตรวจสอบแรงดันปลายสายของสถานี LBL โดยรวมค่า Σ แต่ละค่าจากตาราง ผลลัพธ์ผลรวมที่ได้จากการ Trace ของพื้นที่ให้บริการของสถานีแล้วลบด้วย แรงดันต้น

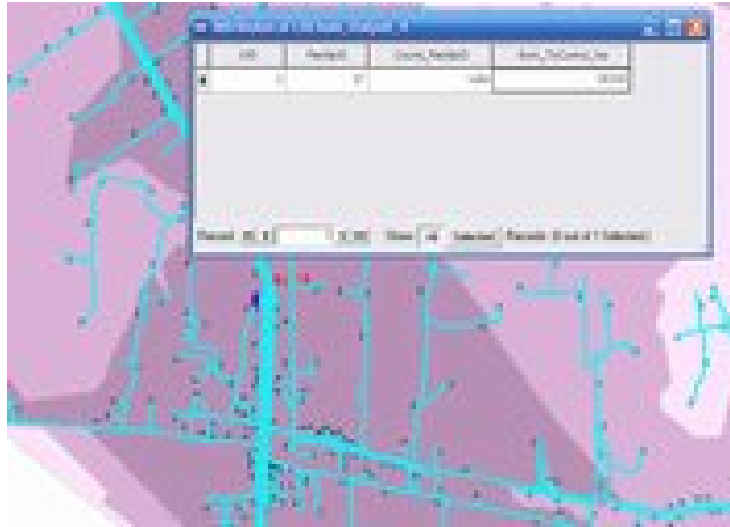
ทางจากสถานีมีค่า 22 kV ผลลัพธ์ 22,000- 289.139 = 21,710.861 V หรือ 21.71 kVA ซึ่งยังอยู่ในเงื่อนไข ดังผลลัพธ์รูปที่ 9



รูปที่ 9 การตรวจสอบเงื่อนไขค่าแรงดันตกปลายสายไม่เกิน 5%

2. โหลดรวมของแรงดันพิกัด (Nom kVA) ต้องไม่เกิน 75% ของหม้อแปลงกำลังที่สถานีไฟฟ้านั้นเปรียบเทียบกับค่าโหลดรวมในบริเวณพื้นที่ให้บริการ ตัวอย่างของสถานีไฟฟ้า

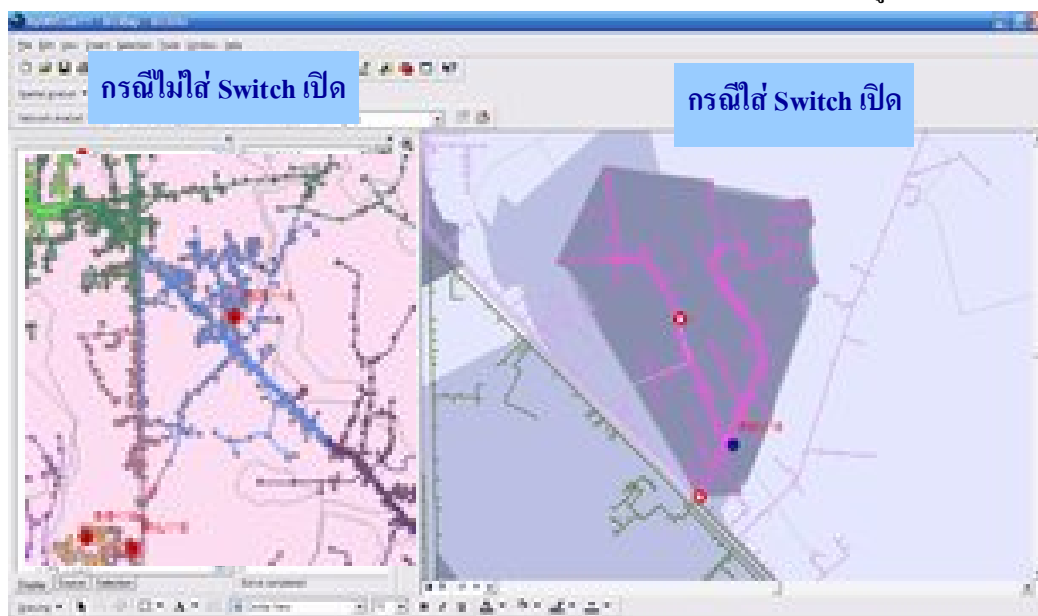
LBL 115 มีค่าผลรวมของโหลด 35335 kVA ซึ่งเมื่อเทียบกำลังของสถานี 75% ของ 50 MVA = 38 MVA หรือ 38000 kVA ซึ่งยังอยู่ในเงื่อนไขของศักยภาพของสถานีไฟฟ้าที่รองรับได้ ดังผลลัพธ์รูปที่ 10



รูปที่ 10 การตรวจสอบเงื่อนไขผลรวมโหนดไม่เกิน 75% ของพิกัดหม้อแปลงกำลังที่สถานีไฟฟ้า

3. กรณีกำหนดสวิตช์ที่ผู้ใช้กำหนดให้หยุดได้ บริเวณที่ต้องการให้เปิดสวิตช์ในบริเวณพื้นที่จ่ายไฟ เฉพาะหรือแหล่งจ่ายไฟเฉพาะสามารถที่จะกำหนด Barrier โดยกำหนดสวิตช์เปิดกั้นพื้นที่นั้น ผลการเปรียบเทียบบริเวณที่ต้องการกำหนดให้เปิด สวิตช์ ในบริเวณพื้นที่

จ่ายไฟเฉพาะหรือแหล่งจ่ายไฟเฉพาะ สามารถที่จะกำหนด Barrier โดยกำหนดสวิตช์เปิดกั้นพื้นที่นั้น เช่น บริเวณพื้นที่เขตอุตสาหกรรมโรจนะ(RCN) ถูกกั้นการตัดจ่ายด้วยสวิตช์เปิด (Status=0) เห็นได้ว่าบริเวณคำสั่งที่ไม่ได้ใส่ จะมีการแสดงค่าที่ออกมานอกพื้นที่ให้บริการดังรูปที่ 11

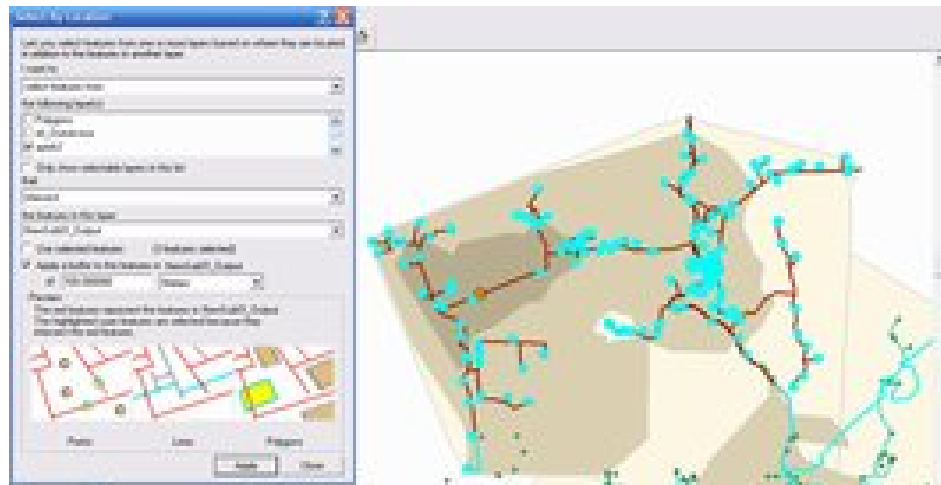


รูปที่ 11 เปรียบเทียบการกำหนดให้สวิตช์เป็น barrier

➤ การหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีใหม่

โดยพิจารณาจากจุดศูนย์กลางความหนาแน่นของจุดโหนด ด้วยฟังก์ชัน Spatial statistic คำสั่ง Mean feature เพื่อหาตำแหน่งจุด

กลางโหนดของบริเวณโซนที่จะมีการสร้างสถานีใหม่กำหนดโซนที่ตั้งสถานีแล้วเลือกจุดโหนดที่อยู่ที่อยู่นอกพื้นที่บริการของสถานีไฟฟ้าเดิมดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ตำแหน่งจุดโหนดที่อยู่นอกพื้นที่

แล้วฟังก์ชันจะทำการประมวลผลหาตำแหน่งของค่าเฉลี่ยจุดกลางของโหนดที่นำมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและหาพื้นที่

ให้บริการของสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่13 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีใหม่

4. การพิจารณาค่าใช้จ่าย

การกำหนดวางแผนตำแหน่งที่ตั้งสถานีแห่งใหม่พิจารณาโดยดูความหนาแน่นของจุดศูนย์กลางโหลด ประกอบกับแนวสายส่งและพื้นที่ศักยภาพแนวโน้มการเกิดขึ้นโหลดในอนาคต ซึ่งเปรียบเทียบตัดสินใจโดยค่าใช้จ่าย (Cost) ของการสูญเสียในสายจำหน่าย โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายของการก่อสร้างใหม่ให้มีค่าเริ่มต้นเท่ากัน จะพิจารณาแต่ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการตั้งสถานีทางเลือกแห่งใหม่ ซึ่งคำนวณค่าใช้จ่ายของความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายจำหน่ายจากสมการดังนี้

$$P_{\text{loss}} = I^2 R L$$

$$P_{\text{cost}} = P_{\text{loss}} \times UC \times 8760$$

- ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าเกิดสายของ $I=520$ ค่ามากที่สุดที่เป็นได้
- พิจารณาค่าใช้จ่ายค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการจ่ายไฟในระบบจำหน่าย (P_{loss})
- กรณีนี้เลือกพิจารณาการก่อสร้างสาย 185 ขนาดพื้นที่หน้าตัด 185 mm^2
- โดยอ้างอิงค่า Unit Cost (UC) จากมาตรฐานราคาของ กฟภ. ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์การคำนวณค่าใช้จ่ายการสูญเสียในสายจำหน่าย

Type	R (Ω/km)	UC (บาท ต่อวงจร กม)
185A	0.1763507	586,813.92
185SAC	0.2106598	1,254,884.50

พิจารณาขนาดของสถานีไฟฟ้าหรือขนาดหม้อแปลงกำลัง และชนิดสายแต่ละ

ประเภท คำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากค่า Loss สูญเสียต่อปี จากค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

ประเภท	P loss (MWh)	ค่าใช้จ่าย (ล้านบาท)
ขนาดหม้อแปลง 25 MVA สาย 185 A	2,793,573.43	1.63
ขนาดหม้อแปลง 25 MVA สาย 185 SAC	3,337,065	4.18
ขนาดหม้อแปลง 50 MVA สาย 185 A	6,176,710.74	3.62
ขนาดหม้อแปลง 50 MVA สาย 185 SAC	7,378,394.27	9.25

จากตารางที่ 5 เห็นได้ว่าการสร้างสถานีขนาด 25 MVA สาย 185A ชนิดอะลูมิเนียมไม่หุ้มฉนวนมีค่าใช้จ่ายถูกสุดแต่จะเห็นว่า ขนาดหม้อแปลงกำลัง 50 MVA 185A นั้นมีค่าใช้จ่ายถูกกว่า ขนาด 25 MVA สาย 185SAC ซึ่งเป็นสายแบบหุ้มฉนวนนำมาใช้ในการพิจารณาคัดเลือกขนาดของสถานีไฟฟ้า

บทสรุป

งานศึกษาวิจัยนี้เป็นการนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) มาประยุกต์ใช้สำหรับการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ ในกระบวนการพิจารณาเงื่อนไขทางกายภาพที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการหาที่ตั้งของสถานีไฟฟ้า และการวางแผนระบบจำหน่ายบนพื้นฐานของฟังก์ชันการวิเคราะห์เชิงโครงข่ายด้วยระบบข้อมูล GIS ที่บรรจุข้อมูลทั้งเชิงบรรยายและเชิงกราฟิก ซึ่งประมวลผลด้วยชุดคำสั่งของ

โปรแกรม Arc GIS ช่วยให้นักวางแผนนำเสนอวิธีการใหม่ๆ ในการดำเนินการวางแผนระบบจำหน่ายได้สะดวกยิ่งขึ้น จากขั้นตอนในการศึกษาการวางแผนระบบจำหน่ายและแบบจำลองจัดสรรตำแหน่ง (Location Allocation Model) สำหรับการวางแผนระบบจำหน่าย ศึกษาฟังก์ชันออกแบบโมเดลและประยุกต์ใช้กับการวางแผนระบบจำหน่าย 22 เควี ด้วยชุดฟังก์ชันโปรแกรม Arc GIS 9.1 โดยกำหนดหาพื้นที่ให้บริการและที่ตั้งสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่เพื่อให้สามารถรองรับครอบคลุมจุดโหลดจากโหลดที่เกิดขึ้นใหม่ได้ แล้วทำการวางแผนระบบสายจำหน่ายให้มีความใช้จ่ายต่ำสุด ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินการจัดสรรโหลดทางไฟฟ้านั้นพิจารณาเงื่อนไขหลักเกณฑ์ตามคู่มือการวางแผนไฟฟ้าของกฟภ. แล้วนำมาประยุกต์ขั้นตอนวางแผนโดยใช้ข้อมูลดิจิทัลระบบภูมิสารสนเทศระบบไฟฟ้า จากกองแผนที่ระบบไฟฟ้า กฟภ.

ผลการศึกษางานวิจัยเป็นการนำเสนอวิธีการตัดสินใจหาที่ตั้งสถานีไฟฟ้า และการวางแผนระบบจำหน่ายด้วยฟังก์ชันการวิเคราะห์ของโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ กับข้อมูลระบบจำหน่ายของ กฟภ. โดยทำการศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองการจัดสรรตำแหน่งขนาดของที่ตั้งสถานีไฟฟ้า และรูปแบบการจัดสรรตำแหน่งการส่งจ่ายโหลดไปยังสถานีข้างเคียง ซึ่งเครื่องมือในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาแบบจำลองการจัดสรรตำแหน่ง จัดทำข้อมูลแบบจำลองเพื่อรองรับหา Service Area ด้วยฟังก์ชัน Network Analysis ในรูปของโครงข่าย Network dataset ซึ่งเป็นฟังก์ชันสำหรับโครงข่ายเส้นทางคมนาคมมาประยุกต์ใช้กับข้อมูล

โครงข่ายระบบไฟฟ้าและ ข้อกำหนดเงื่อนไขในการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งฟังก์ชันโครงข่ายโดยตรง Geometric network ของการวิเคราะห์ของระบบไฟฟ้านั้นซึ่งเป็นรูปแบบข้อมูลในชุดโปรแกรม Arc AM/FM ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลระบบไฟฟ้าเป็นการวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชันระยะทางสั้นสุดที่ไม่ได้คิดค่ารวมของ capacity ของ source ด้วย ซึ่งต้องมีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันโครงข่าย Network dataset มาใช้ในการศึกษานี้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจจากแนวคิดแบบจำลองการจัดสรรตำแหน่งที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้จัดทำเสนอรูปแบบของ Model builder เครื่องมือใน Arc Tool box ซึ่งจะ เป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมคำสั่งให้ทำงานได้อัตโนมัติดียิ่งขึ้นต่อไป

โดยสรุป งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแปลงหลักเกณฑ์การวางแผนสถานีไฟฟ้า และการวางแผนระบบสายจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ให้มาเป็นแบบจำลองการวิเคราะห์จัดสรรตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และทำการทดลองนำแบบจำลองดังกล่าวมาดำเนินการประมวลผลวิเคราะห์ข้อมูลแผนที่ระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้ฟังก์ชันสำเร็จรูปในซอฟต์แวร์ ArcGIS เพื่อหาตำแหน่งของจุดโหลดที่อยู่นอกพื้นที่บริการของสถานีไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมเมื่อเปรียบเทียบกับโหลดใหม่ในอนาคตที่ได้จากการพยากรณ์ และหาตำแหน่งทางเลือกของสถานีไฟฟ้าแห่งใหม่ได้ผลตามที่คาดหวังไว้ โดยที่ยังมีประเด็นขัดแย้งต่าง ๆ ทั้งในด้านแบบจำลอง และในด้านกระบวนการประมวลผลข้อมูลอยู่บ้าง ซึ่งหากได้มีการศึกษาปรับปรุงเพิ่มเติมในประเด็นขัดแย้งต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ก็เชื่อว่าหน่วยงานด้าน

สาธารณูปโภคต่าง ๆ ในประเทศไทย จะได้มี
โอกาสนำเอาเทคนิคการวิเคราะห์จัดสรรตำแหน่ง
ในโครงข่าย ตามผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ไป
ประยุกต์ใช้วิเคราะห์กำหนดตำแหน่งของจุด
กระจายทรัพยากรของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพ
ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] การไฟฟ้าภูมิภาค. 2547. หลักเกณฑ์
ข้อกำหนดในการวางแผนระบบไฟฟ้า
(Distribution System Planning Criteria).
กองวางแผนระบบไฟฟ้า.
- [2] วิโรจน์ บัวคลี่, รัตติยา ยุทธวิชยานนท์
และคณะ. 2545. แนวทางการจัดการ
ข้อมูลสำหรับการวางแผนระบบไฟฟ้า.
เอกสารประกอบการเสนอขอความเห็น
สมควรประจำปี 2545. โครงการความ
ร่วมมือทางวิชาการระหว่าง กฟภ. และ
ม.เกษตรศาสตร์, PK/AS/01, 27-29
มีนาคม 2545.
- [3] สุภาวดี อินทแสง . 2550. “การ
ประยุกต์ใช้แบบจำลองการจัดสรร
ตำแหน่งในการวิเคราะห์กำหนดที่ตั้ง
สถานีไฟฟ้าและวางแผนระบบสาย
จำหน่าย”, วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาระบบสารสนเทศ
ปริภูมิทางวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรม
สำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] Densham, P.J.. and Armstrong, M.P.
1987. A spatial decision support system

for locational planning: design,
implementation and operation.
Proceedings, Auto Carto 8 .ACSM, Falls
Church. pp.112-121.

- [5] Hillsman, E.L. 1984. The p-median
structure as a unified linear model for
location allocation analysis. In:
Environment and Planning A, vol. 16.
- [6] Kim Y. and S. Openshaw. 2000.
Comparison of alternative location-
allocation algorithms in GIS School of
Geography, University of Leeds LS2 9JT.