การติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า
Placement of Distributed Generation for Reliability in Distribution System

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว โดยมีจุดประสงค์หลัก คือ การลดค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้า การแก้ปัญหาการลดค่าความเสียหายอันเนื่องมาจากไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าให้มีค่าต่ำสุด โดยใช้เทคนิคการค้นหาแบบตาบูซึ่งเป็นเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาประยุกต์ใช้ในการหาขนาดและตำแหน่งของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เหมาะสม ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดค่าความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าดับ โดยประมวลผลเทคนิคที่นำเสนอกับแบบจำลองระบบทดสอบจำหน่ายไฟฟ้าของ Roy Billinton Test System (RBTS) บัส 2 ซึ่งประกอบด้วย 15 บัส และ 22 จุดโหลด จากการประมวลผลทดสอบทำให้ได้ผลของขนาดและตำแหน่งติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เหมาะสมทำให้สามารถนำมาใช้เพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

คำสำคัญ: ความเชื่อถือได้ของระบบ แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Abstract

This paper presents reliability evaluation in distribution system with distributed generation. The main objective is to minimize the customer interruption cost subject to given number of distributed generation. The minimization problem for customer interruption cost in solved by the developed tabu search algorithm together with reliability worth analysis that provide an indirect measure for cost implication associated with power outages. The developed methodology is tested with a distribution system of Roy Billinton Test System (RBTS) bus 2 consist of 15 buses and 22 load points. Numerical results from the tests demonstrate that the optimal distributed generation placement can be used to promote reliability of the distribution systems.

Keywords: Reliability; Distributed Generation; Distribution System

* *ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ nattachote.r@rmutp.ac.th โทร. 08 9607 1641*

1. บทนำ

ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ามีความสำคัญมากขึ้นเรื่อย ๆ จากปัจจัยอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และสังคมรวมทั้งการพัฒนาทางด้านต่าง ๆ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบที่เชื่อมต่อระหว่างระบบส่งจ่ายไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นระบบที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟโดยตรง การเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ไฟฟ้าดับมากกว่าร้อยละ 90 มีสาเหตุมาจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า นอกจากนี้ในปัจจุบันหลาย ๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทยได้มีการกำหนดเกณฑ์คุณภาพการให้บริการของการไฟฟ้าระบบจำหน่าย ด้วยค่าดัชนีความเชื่อถือได้ เพื่อเป็นปัจจัยในการประเมินประสิทธิภาพของการไฟฟ้า ความเชื่อถือได้ของระบบ คือ การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าให้มีคุณภาพและอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม การเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นสิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญ เพราะระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบที่เชื่อมต่อระหว่างระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟซึ่งถือเป็นระบบที่มีความสำคัญ และส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง การเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า ความน่าเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นพื้นฐานของการออกแบบ และการประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Khattam, 2005)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีหน้าที่สำคัญ คือ การส่งจ่ายพลังไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา มีความมั่นคงและความเชื่อถือได้ในการส่งไฟฟ้า ความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าหมายถึง ความคาดหวังว่าระบบไฟฟ้าจะสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับลูกค้าได้อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่องโดยมีไฟฟ้าขัดข้องน้อยที่สุด เมื่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจึงต้องมีการเพิ่มกำลังผลิตและขยายระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า จึงนำเทคโนโลยีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation: DG) เข้ามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ นอกจากนี้ สามารถลดความสูญเสียของกำลังไฟฟ้า และสามารถเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Jahangiri, 2008)

บทความนี้เสนอวิธีการค้นหาแบบตาบูในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และนำมาประยุกต์ใช้ในการลดค่าคาดหมายความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (ECOST) โดยประมวลผลทดสอบกับแบบจำลองระบบทดสอบจำหน่ายไฟฟ้าของ Roy Billinton Test System (RBTS) บัส 2

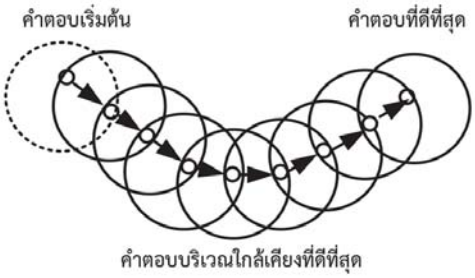
1.1 วิธีการค้นหาแบบตาบู

การค้นหาแบบตาบู หรือ tabu search (TS) เป็นวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาสำหรับงานที่ต้องการคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Glover, 1989) เป็นวิธีการคิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระบบที่เรียกว่าปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงผสมผสาน (combinatorial optimization) วิธีการค้นหาแบบตาบูเสนอครั้งแรกโดย F. Glover เป็นผู้ริเริ่มเสนอแนวคิดของการค้นหาแบบตาบูไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2520 และหลังจากนั้นได้กลายมาเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เป็นกรรมวิธีที่มีการทำซ้ำแบบฮิวริสติก (Glover, 1990) วิธีการค้นหาแบบตาบูสามารถหลีกเลี่ยงคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น (local optimum) และยังสามารถทำการค้นหาคำตอบต่อไปจนกระทั่งให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (near global optimum) การค้นหาแบบ

ตาบูยังสามารถประยุกต์ใช้งานกับหลาย ๆ ระบบได้อย่างไม่ยุ่งยากมากอันเนื่องมาจากหลักการและกลไกการทำงานของการค้นหาแบบตาบูที่ไม่ซับซ้อนนั่นเองซึ่งทำให้ขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานของ TS ค่อนข้างที่จะสะดวกกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น วิธีการอบอ่อนจำลอง (simulated annealing) วิธีเชิงพันธุ์กรรม (genetic algorithm) เครือข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เป็นต้น ดังนั้นแล้วการเขียนโปรแกรมใช้งานการค้นหาแบบตาบู จึงสะดวกต่อการประยุกต์ใช้งานและการเขียนคำสั่งไม่ยุ่งยาก

คำว่า Tabu หรือ Taboo มีความหมายตามพจนานุกรมทั่ว ๆ ไปว่า 'ต้องห้าม' ดังนั้นวิธีการค้นหาแบบตาบู จึงหมายถึง วิธีการค้นหาที่มีข้อห้ามหรือการห้ามการค้นหาคำตอบในบางขอบเขต ในวิธีการห้ามดังกล่าวนั้นจะเป็นการห้ามเพื่อที่จะช่วยไม่ต้องไปค้นหาคำตอบเดิม หรือเกิดการวนรอบ การค้นหาคำตอบซึ่งอยู่ในขอบเขตของการค้นหาเดิมทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีขึ้น

ตาบูใช้หลักแนวคิดที่ทำให้การค้นหาคำตอบเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เส้นทางต่าง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ คำตอบในขณะนั้นสามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจว่าจะเลือกคำตอบใหม่ในเส้นทางใด (Hiroyuki, 2000) ซึ่งแตกต่างไปจากการเลือกค้นหาคำตอบด้วยวิธีสุ่ม (random search) การคำนวณหาคำตอบใหม่จากจุดของคำตอบปัจจุบันใด ๆ จะใช้ปฏิบัติการที่เรียกว่าการ 'move' (move operator) หรือ 'การเดิน' ซึ่งจะทำให้คำตอบหรือสภาวะปัจจุบันของคำตอบเปลี่ยนแปลงไปตามการเดิน สำหรับการค้นหาคำตอบทั่ว ๆ ไปที่เรียกว่าการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (local search หรือ LS) หรือการค้นหาคำตอบพื้นที่รอบข้าง (neighborhood search หรือ NS) นั้นจะทำการเลือกคำตอบใหม่ที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันจากคำตอบที่มีอยู่รอบ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยอาศัยการเดินเพื่อทำการประเมินค่าของคำตอบรอบ ๆ ข้างเหล่านั้น แล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดขึ้นมาเป็นคำตอบใหม่ต่อไป



รูปที่ 1 รูปแบบการเคลื่อนย้ายของการค้นหาแบบตาบู

เทคนิคการค้นหาแบบตาบู เป็นวิธีที่ช่วยลดเวลาในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากการค้นหาแบบตาบูสามารถหลุดพ้นจากคำตอบเหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น และหลีกเลี่ยงเส้นทางการค้นหาคำตอบที่ทำให้เกิดการวนรอบอยู่กับที่

1.2 ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้า

การติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวจะปรับปรุงและเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเมื่อเกิดฟอลต์ในระบบจำหน่ายขึ้นอุปกรณ์ป้องกันในระบบจะทำงานและตัดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแยกออกจากระบบเพื่อป้องกันผลกระทบจากการเกิดฟอลต์ และส่งผลกระทบทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่มีไฟฟ้าใช้ ผู้ใช้ไฟฟ้าบางส่วนจะได้รับผลกระทบเป็นเวลานานเนื่องจากต้องรอการซ่อมแซมแก้ไขของพนักงานการไฟฟ้า แต่จะมีผู้ใช้ไฟฟ้าบางส่วนไม่ได้รับผลกระทบจากการเกิดฟอลต์ เนื่องจากมีแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวติดตั้งอยู่และสามารถ

เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ โดยขึ้นอยู่กับขนาดและกำลังการผลิตของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวและตำแหน่งการติดตั้งกับตำแหน่งของจุดโหลด โดยดัชนีในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า มีดังนี้ (Goel, 1991) (Allan, 1991)

ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบ (SAIFI)

$$SAIFI = \sum \frac{\lambda_i N_i}{N_i} \quad (1)$$

ดัชนีจำนวนระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับเฉลี่ยของทั้งระบบ (SAIDI)

$$SAIDI = \sum \frac{U_i N_i}{N_i} \quad (2)$$

ดัชนีแสดงจำนวนที่มีไฟดับที่ผู้ใช้ไฟเฉลี่ย (CAIDI)

$$CAIDI = \sum \frac{U_i N_i}{\lambda_i N_i} \quad (3)$$

ดัชนีบอกการมีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟเฉลี่ย (ASAI)

$$ASAI = \frac{\sum N_i \times 8760 - \sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (4)$$

ดัชนีบอกการไม่มีไฟฟ้าให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (ASUI)

$$ASUI = 1 - ASAI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i \times 8760} \quad (5)$$

ดัชนีแสดงระยะเวลาพลังงานที่ไม่ได้จำหน่าย (ENS)

$$ENS = \sum L_{a(i)} U_i \quad (6)$$

ดัชนีแสดงระยะเวลาพลังงานที่ไม่ได้จำหน่ายเฉลี่ย (AENS)

$$AENS = \frac{\sum L_{a(i)} U_i}{\sum N_i} \quad (7)$$

การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ต้องคำนึงถึงสถิติหรือการคาดการณ์การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ว่าจะเกิดเหตุขัดข้องขึ้นบ่อยครั้งหรือเมื่อเกิดเหตุแล้วใช้เวลาซ่อมแซมนานเท่าใด เพื่อสามารถทำการจ่ายไฟฟ้าได้ตามปกติ ค่าใช้จ่ายในการหยุดทำงานของผู้ใช้ไฟ (ECOST) จะถูกคำนวณจากดัชนีความเชื่อถือได้ (Goel, 1991)

1.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการหยุดทำงานของผู้ใช้ไฟ (ECOST) และการวิเคราะห์ดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้า ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Minimize } ECOST = \sum_{h=1}^{n_h} (L_{a(h)} C_h r_h \lambda_h) \quad (8)$$

โดยที่ n_h คือ จำนวนจุดโหลดที่ถูกแยกเมื่อไม่สามารถจ่ายไฟได้

$L_{a(h)}$ คือ ค่าเฉลี่ยระดับการใช้พลังงานที่จุดโหลด h ในหน่วย (kW)

r_h คือ ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของจุดโหลด h ในหน่วยชั่วโมง

C_h คือ ค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟดับของผู้ใช้ไฟที่จุดโหลด h ในหน่วย ($/kWh)

λ_h คือ อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ที่จ่ายไฟให้จุดโหลด h ในหน่วย (ครั้ง/ปี)

1.4 การกำหนดเงื่อนไขบังคับ

1) สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า

$$P_k = \sum_{i=1}^{N_B} \left| Y_{ik} V_i V_k \right| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (9)$$

$$Q_k = -\sum_{i=1}^{N_B} \left| Y_{ik} V_i V_k \right| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (10)$$

2) ค่าขนาดของแรงดันที่แต่ละบัสจะต้องอยู่ในขีดจำกัดที่กำหนด

$$V_k^{\min} \le V_k \le V_k^{\max} \quad (11)$$

3) ค่าขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านแต่ละสายป้อน

$$I_l \le I_l^{\max}; l \in \{1,2,...,N_l\} \quad (12)$$

4) จำนวนสูงสุดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่ติดตั้งในระบบ

$$\sum_{k=1}^{N_B} e_{jk} \le n_{DG} \quad j \in \{1,2,...,N_C\} \quad (13)$$

5) กำลังผลิตสูงสุดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

$$\sum_{k=1}^{N_B} \sum_{j=1}^{N_C} C_j \cdot e_{jk} \le G \quad (14)$$

6) ตัวแปรสำหรับการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

$$e_{jk} \in \{0,1\} \quad (15)$$

7) แหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวสามารถติดตั้งได้ตำแหน่งละหนึ่งตัว

$$\sum_{j=1}^{N_C} e_{jk} \le 1 \quad k \in \{1,2,...,N_B\} \quad (16)$$

โดยที่

N_B คือ จำนวนบัสของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

e_{jk} คือ ตัวแปรตัดสินใจสถานะตำแหน่งการติดตั้งบัส i และกำลังการผลิตที่ j

n_{DG} คือ จำนวนแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

N_C คือ จำนวนขนาดกำลังการผลิตของ DG

C_j คือ ขนาดกำลังการผลิตที่ j ของ DG

G คือ ขนาดกำลังการผลิตรวมสูงสุดของ DG

1.5 ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา

การลดค่าคาดหมายความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการค้นหาแบบตาบูและป้อนข้อมูลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวกับข้อมูลของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จะทำการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการทดสอบโดยการสุ่มตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตเริ่มต้น จากตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิต เป็นค่าเริ่มต้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 หาค่า ECOST สมการที่ (8) พิจารณาการปลดโหลด เมื่อติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ภายใต้เงื่อนไขบังคับของสมการที่ (9)-(16) จากข้อมูลของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในขั้นตอนที่ 1 และกำหนดให้ค่า ECOST เป็นค่าที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 นับจำนวนครั้งในการค้นหาและดำเนินการค้นหาตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตบริเวณใกล้เคียงจากคำตอบปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาค่า ECOST โดยพิจารณาการปลดโหลด เมื่อมีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวของสมาชิกแต่ละตัวของคำตอบบริเวณใกล้เคียง แล้วเลือกสมาชิกที่ทำให้ค่า ECOST มีค่าต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 7 ตรวจสอบรายการตาบูว่ามีสถานะเป็นตาบูหรือไม่

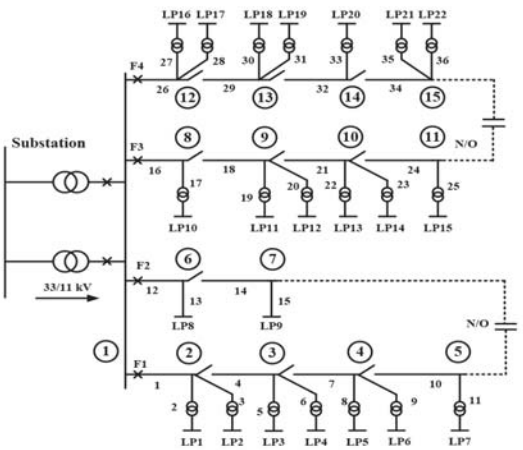
ขั้นตอนที่ 8 ถ้าไม่เป็นตาบูให้คำตอบบริเวณใกล้เคียงดังกล่าวเป็นคำตอบปัจจุบัน แต่ถ้าเป็นตาบูต้องผ่านเกณฑ์ความปรารถนาคือต้องมีค่า ECOST ต่ำกว่าค่า ECOST เดิมแล้วทำการย้ายตำแหน่งโดยกำหนดให้ คำตอบบริเวณใกล้เคียงเป็นคำตอบปัจจุบันและปรับปรุงรายการตาบูให้เป็นปัจจุบันและเพิ่มจำนวนครั้งในการค้นหา

ขั้นตอนที่ 9 ดำเนินการค้นหาจนครบรอบจำนวนครั้งสูงสุดที่กำหนดไว้

2. วิธีการศึกษา

การประมวลผลวิธีการค้นหาแบบตาบูกับกรณีศึกษา โดยการทดสอบกับแบบจำลองระบบทดสอบจำหน่ายไฟฟ้าของ Roy Billinton Test System (RTBS) บัส 2 ซึ่งประกอบด้วย 15 บัส 36 สายป้อน 22 จุดโหลด (Jeon, 2004)

ในระบบที่มีอุปกรณ์หลักต่าง ๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบทั่วไปของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และการกำหนดค่าของระบบแสดงในรูปที่ 2 โดยทำการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าสูญเสียและความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า การค้นหาซ้ำสูงสุดของวิธีการค้นหาแบบตาบู คือ 100 รอบ กำหนดให้ใช้โหลดเฉลี่ยและค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดแต่ละบัส 0.95 p.u. และ 1.05 p.u. ตามลำดับ และขนาดของแหล่งผลิตไฟฟ้า คือ 500 kW-2,000 kW



รูปที่ 2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าทดสอบ RBTS บัส 2

การพิจารณาจะไม่คำนึงถึงผลกระทบของลำดับการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานไม่ได้ เมื่อมีการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว กรณีศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในตารางที่ 1 ผลจากกรณีศึกษาดัชนีความเชื่อถือได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และตำแหน่งที่เหมาะสมและขนาดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในกรณีศึกษาที่ 4 มีค่า ECOST ลดลงมากที่สุด ระบบจำหน่ายไฟฟ้า RTBS บัส 2 ของกรณีศึกษา 4 ดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 1 กรณีศึกษาสำหรับการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้

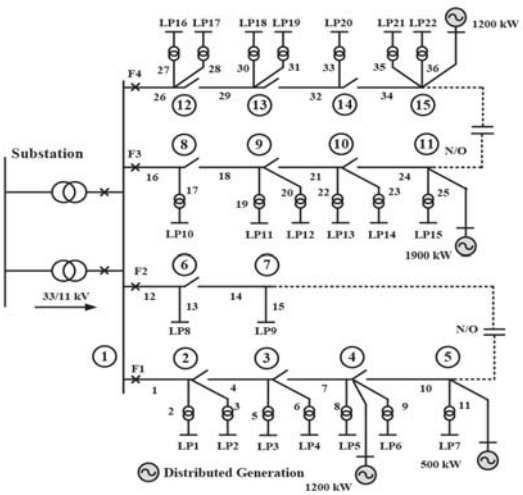
กรณี	จำนวน DG ที่ติดตั้ง n_{DG} (unit)	กำลังผลิตรวมของ DG G (kW)
1	-	-
2	2	≤ 2000
3	3	≤ 3000
4	4	≤ 5000

ตารางที่ 2 ผลจากกรณีศึกษาดัชนีความเชื่อถือได้

ดัชนีความเชื่อถือได้	กรณีศึกษา			
	1	2	3	4
SAIFI (ครั้ง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	0.248211	0.248211	0.248211	0.248211
SAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	3.73209	3.72557	3.72333	3.7199
CAIDI (ชั่วโมง/ผู้ใช้ไฟฟ้า)	15.036	15.009	14.997	14.987
ASAI	0.999574	0.999575	0.999575	0.999575
ASUI	0.000426	0.000425	0.000425	0.000425
ENS (kWh/ปี)	40,775.30	39,899.80	39,417.90	38,792.00
AENS (kWh/ผู้ใช้ไฟฟ้า/ปี)	21.37	20.91	20.65	20.33
ECOST ($/ปี)	49,922.30	44,290.30	41,459.80	38,765.70
ECOST ลดลง (%)	-	11.28	16.95	22.34

ตารางที่ 3 ตำแหน่งที่เหมาะสมและขนาดของ DGs

กรณี	ตำแหน่งที่ติดตั้ง DG (bus)	กำลังการผลิตของ DG ที่ติดตั้งในระบบ (kW)	กำลังการผลิตทั้งหมดของ DG (kW)
1	-	-	-
2	5, 15	600, 1100	1700
3	5, 11, 15	600, 600, 1600	2800
4	4, 5, 11, 15	1200, 500, 1900, 1200	4800



รูปที่ 3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า RTBS บัส 2 ของกรณีศึกษา 4

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิจัยนี้ได้ทดสอบกับแบบจำลองระบบทดสอบจำหน่ายไฟฟ้าของ Roy Billinton Test System (RBTS) บัส 2 ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยแสดงอยู่ในรูปของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ จากการทดสอบทำให้สามารถนำค่าดัชนีต่าง ๆ ที่ได้ไปใช้ในประกอบการตัดสินใจในการติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของทางการไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการหาจุดที่เหมาะสมและการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว

ในการวิเคราะห์ความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าหลังจากมีการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวในระบบจำหน่าย โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายในการหยุดทำงานของผู้ใช้ไฟ (ECOST) รวมทั้งค่าพิจารณาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI, SAIDI, CAIDI, ASAI, ASUI, ENS และ AENS เมื่อเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 4 เทียบกับกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งไม่ได้ติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว พบว่าค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับมีค่าลดลง ซึ่งจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวสามารถลดค่าเสียหายจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ค่าของดัชนีจะบ่งบอกความเชื่อถือได้ของระบบ เพื่อที่จะได้ทราบว่าจุดใดในระบบมีความเสี่ยงในการเกิดความล้มเหลวและจะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สำคัญจะสามารถบ่งบอกการทำงานและรูปแบบการทำงานระบบ

การวิเคราะห์ค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะพบว่ามูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาเฉลี่ยที่เกิดไฟฟ้าดับ แต่ละประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับจะขึ้นอยู่กับโอกาสในการเกิดฟอลต์ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ปริมาณของโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เกิดไฟฟ้าดับ โดยมีขนาดของพิกัดกระแสที่สายป้อนและแรงดันที่จุดโหลดเป็นเงื่อนไขและสามารถกำหนดจำนวนและกำลังการผลิตรวมของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวให้เหมาะสมและดีที่สุดที่ต้องการได้

นอกจากนี้ การเพิ่มความเชื่อถือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวควรติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม และควรพิจารณาต้นทุนในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยที่การผลิตไฟฟ้าของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายส่วนใหญ่เป็นพลังงานหมุนเวียนเหมาะสำหรับการเพิ่มความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และลดค่าความสูญเสียการเกิดไฟฟ้าดับของผู้ใช้ไฟฟ้าได้

4. สรุป

บทความนี้ได้นำวิธีการค้นหาแบบตาบูมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเมื่อเชื่อมต่อในระบบจำหน่าย โดยพิจารณาให้ค่าเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ (ECOST) ลดลง โดยทดสอบเทคนิคที่นำเสนอในแบบจำลองระบบทดสอบจำหน่ายไฟฟ้า RBTS บัส 2 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวเมื่อเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถช่วยลดค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อเกิดไฟฟ้าดับและสามารถเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย จึงทำให้ผลงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

Khattam W. E. & Hegazy Y.G. and Salama M.M.A. (2005) "An Integrated Distributed Generation Optimization Model for Distribution System Trans Planning", IEEE on Power Systems: 1158-1165.

Jahangiri P. and Fotuhi-Firuzabad M. (2008). Reliability Assessment of Distribution System with Distributed Generation," 2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECON08), Johor Baharu: 1551-1556.

Glover F. (1989). "Tabu Search – Part I", ORSA Journal on Computing: 190-206.

Glover F. (1990). "Tabu Search: A tutorial", Interaces: 74-79.

Hiroyuki M. and Yoshihiro O. (2000). "Parallel Tabu Search for Capacitor Placement in Radial Distribution System," in Proc. Power Engineering Society Winter Meeting: 2334-2339.

Goel L. and Billinton R. (1991). Procedure for Evaluating Interrupted Energy Assessment Rates in an Overall Electric Power System," IEEE Trans. Power Systems: 1398-1403.

Allan R.N. and Biliinton R. (1991). "A Reliability Test System for Education Purposes – Basic Distribution System Data and Results," IEEE Trans. on Power System: 813-820.

Goel L. and Billinton R. (1991). "Basic Data and Evaluation of Distribution System Reliability Worth," in Proc. Computer, Power and Communication Systems in a Rural Environment: 271-277.

Jeon Y.J. and Kim J.C. (2004). "Application of Simulated Annealing and Tabu Search for Loss Minimization in Distribution Systems," Electrical Power and Energy Systems: 9-18.