

การหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย
โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบใช้การเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด
**OPTIMAL PLACEMENT AND CAPACITY OF DISTRIBUTED GENERATOR
USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

วิชิต เครือสุข

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : wichit.kr@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ การหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบใช้การเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาค เพื่อลดกำลังจริงสูญเสียในระบบจำหน่ายให้ มีค่าต่ำสุด ซึ่งในเงื่อนไขเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายนี้มีจำนวนมากกว่าหนึ่งเครื่องและสี่แบบ ในครั้งใน การคำนวณจะต้องพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเพื่อหาค่ากำลังจริงสูญเสีย การทดสอบได้มี การเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคกับวิธีการฮิวริสติก และวิธีการคัดเลือกพันธุกรรม ซึ่งได้ ทดสอบกับระบบไฟฟ้ามาตรฐาน 33 บัส และ 69 บัส ของ IEEE จากผลการทดสอบวิธีการเคลื่อนที่กลุ่มของ อนุภาคที่นำเสนอพบว่า การหาตำแหน่งและขนาด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีหลายเครื่อง ได้คำตอบ ที่ทำให้กำลังจริงสูญเสียในระบบไฟฟ้ามาตรฐานมีค่าต่ำสุดตามแต่ละแบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยมีค่าแรงดันตก ลดน้อยลง อย่างเห็น ได้ชัด นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำของสายป้อนแต่ละส่วน ยังมีค่าลดลงด้วย

คำสำคัญ : เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย วิธีการเคลื่อนที่กลุ่มของ อนุภาค วิธีการคัดเลือกพันธุกรรม

ABSTRACT

This paper proposes a particle swarm optimization (PSO) algorithm for optimal placement of distributed generator (DG) in primary distribution systems for minimizing the total real power loss. The proposed PSO algorithm is used to determine optimal placement and capacity of multi-DGs. Four types of DG are considered and the distribution load flow is used to calculate the exact loss. Test results indicate that PSO method can obtain better results than the simple heuristic search method and genetic algorithms (GA) on the 33-bus and 69-bus radial distribution systems. The PSO can obtain maximum loss reduction for each of four

types of optimally placed multi-DGs. Moreover, voltage profile improvement and branch current reduction are obtained.

KEYWORDS: Distributed generation, DG types, Particle swarm optimization, Genetic algorithm

1. บทนำ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย หรือหน่วยผลิตไฟฟ้ารายย่อย (Distributed Generator, DG) ถูกจำกัดความเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับบริเวณของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเชื่อมต่อเข้ากับระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือไม่ก็ได้ แต่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงควรเชื่อมโยง DG เข้ากับระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ DG สามารถส่งไฟฟ้าเข้าระบบได้เมื่อมีไฟฟ้าเหลือใช้ และสามารถดึงไฟฟ้าจากระบบมาใช้เมื่อความต้องการมากกว่าที่ผลิตได้ โดยปกติ DG จะมีขนาดเล็กแต่ก็ไม่มีข้อจำกัดชัดเจนว่าต้องมีขนาดไม่เกินเท่าใด อาจมีขนาดเป็นกิโลวัตต์ (kW) จนถึงหลายเมกะวัตต์ (MW) (Thomas Ackermann,2001: 195-204) ทางเศรษฐศาสตร์ การติดตั้ง DG เข้ากับระบบไฟฟ้าเป็นปัญหาวิจัยที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อ DG หลายแบบ ที่ถูกนำไปติดตั้งในท้องถิ่นต่างๆ ช่วยลดภาระการลงทุนขยายระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้มาก การกำหนดขนาดการผลิต และตำแหน่งที่สมควรติดตั้ง จึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะถูกนำมาพิจารณา (Caisheng Wang,2004:2068-2076) สำหรับงานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาปัญหาการหาตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Optimal Placement of DG : OPDG) โดยวัตถุประสงค์เพื่อลดกำลังสูญเสียจริงในระบบ ซึ่งมีหลากหลายงานวิจัยให้ความสำคัญในประเด็นนี้มาก

บทความนี้จึงได้นำเสนอการหาคำตอบ OPDG โดยวิธีการหาคำตอบแบบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO) เป็นการต่อยอดผลงานวิจัย (Wichit Krueasuk,2006) เพื่อเกิดความสมบูรณ์ของงานวิจัย จึงได้ทำการเปรียบเทียบกับ วิธีการกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) และยังเปรียบเทียบกับวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผลงานวิจัยวิธีการ PSO ให้คำตอบได้ดีที่สุดกว่าแบบอื่นๆที่กล่าวมา และยังใช้ระยะเวลาคำนวณที่สั้นกว่าอีกด้วย

2. วิธีการคำนวณเชิงปัญญาประดิษฐ์

2.1 กระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม

วิธีการคัดเลือกทางพันธุกรรม(Genetic Algorithm, GA) (Emad Elbeltagi,2005:43-53) เป็นกระบวนการค้นหา (search) คำตอบแบบหนึ่ง ที่มีพื้นฐานการเลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรมตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต โดยที่พันธุ์ดีและเหมาะสมกว่า จะถูกคัดเลือกให้คงอยู่ หลักวิธี GA จึงมักถูกนำไปใช้ ในการแก้ปัญหาออปติไมเซชัน (optimization problem) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ภายใต้เงื่อนไข (constraint) และฟังก์ชันของจุดประสงค์ (objective function) ที่กำหนด โดยเริ่มต้นจากการสุ่มค่าคำตอบขึ้นมา จำนวนหนึ่ง เรียกว่าเป็นประชากร (population) โดยที่แต่ละประชากร เรียกว่า โครโมโซม (chromosome) ในแต่ละโครโมโซมประกอบด้วยยีน (gene) หลายๆ ยีนเรียงต่อกัน โดยมากจะแทนแต่ละยีนด้วยเลขไบนารี (binary) จากนั้นจึงพิจารณาประชากรทั้งหมดว่ามีความเหมาะสมเพียงใด โดยการนำไปแทนในฟังก์ชันจุดประสงค์ ซึ่งผลลัพธ์

แสดงถึงค่าความเหมาะสม (fitness value) ของประชากรนั้น เมื่อทราบค่าความเหมาะสมแล้วจึงทำการคัดเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (parent selection) โดยอาจจะใช้วิธีการที่เรียกว่า วงล้อรูเล็ต (roulette-wheel method) ซึ่งจะเป็นการนำโครโมโซมรุ่นพ่อและรุ่นแม่ ถ่ายทอดไปยังรุ่นลูก (offspring) โดยตรง หรืออาจใช้วิธีการอื่นๆ ก็ได้ หลังจากที่ได้พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์แล้ว คู่เลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ มาผลิตรุ่นลูก เป็นประชากรรุ่นใหม่ ที่เกิดขึ้นมาด้วยวิธีการกลายพันธุ์หรือมิวเตชัน (mutation) หรือ การครอสโอเวอร์ (crossover)

2.2 การเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

วิธีการการเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO) เป็นการค้นหาคำตอบที่มีพื้นฐานเลียนแบบพฤติกรรมทางสังคมและพลศาสตร์การเคลื่อนไหวของฝูงแมลง นกหรือปลา ซึ่งถูกนำเสนอโดย Kennedy and Eberhart (Kennedy J, 1995: 1942-1948) เหมาะสำหรับปัญหาที่ตัวแปรมีความต่อเนื่อง ซึ่งประสบความสำเร็จในการนำไปใช้หาคำตอบของปัญหาที่หลากหลาย โดยมีข้อดีหลายประการ เช่น ใช้พารามิเตอร์ของอัลกอริธึมน้อย สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก เป็นต้น ซึ่งคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จะถูกค้นหอย่างเป็นขั้นเป็นตอน โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค (particle) ตามเวลา ภายในสเปซของการค้นหา (search space) ซึ่งการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคจะขึ้นกับประสิทธิภาพของมันเอง ซึ่งเรียกค่านี้ว่า Pbest และตามประสิทธิภาพของอนุภาคที่อยู่ข้างเคียง เรียกค่านี้ว่า Gbest

3. วิธีการหาคำตอบ

วิธีการหาคำตอบของปัญหา (Problem Formulation) การหาค่าตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Optimal Placement of DG : OPDG) จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การหาคำตอบที่มุ่งเน้นเพื่อลดกำลังสูญเสียไฟฟ้าจริง (Real Power losses) (I.O.Elgerd, 1971) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) ตามสมการที่ 3.1 โดยการพิจารณาข้อจำกัดของระบบที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการทำงาน โดยสามารถแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

$$\text{หาค่าต่ำสุดของกำลังสูญเสียไฟฟ้าจริง} \quad P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + B_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j) \quad (3.1)$$

โดยที่เป็นไปตามข้อจำกัดของสมการสมดุลกำลังงานไฟฟ้า

$$\sum_{i=1}^N P_{DGi} = \sum_{i=1}^N P_{Di} + P_L \quad (3.2)$$

และข้อจำกัดพิกัดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในสาย

$$|V_i|^{\min} \leq |V_i| \leq |V_i|^{\max} \quad (3.3)$$

$$|I_{ij}| \leq |I_{ij}|^{\max} \quad (3.4)$$

และข้อจำกัดขอบเขตการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไฟฟ้าแบบต่างๆ ได้แก่

แบบที่หนึ่ง เป็น DG ที่สามารถจ่ายได้เฉพาะกำลังไฟฟ้าจริง (Real power) เช่น การผลิตด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ

$$P_{DGi} = P_{Di} - \frac{1}{A_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (A_{ij} P_j - B_{ij} Q_j) \quad (3.5)$$

แบบที่สอง เป็น DG ที่สามารถจ่ายได้เฉพาะกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive power) เช่น ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ (Synchronous condenser) ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ

$$Q_{DGi} = Q_{Di} - \frac{1}{A_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (A_{ij}Q_j + B_{ij}P_j) \tag{3.6}$$

แบบที่สาม เป็น DG ซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง แต่ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เช่น เทอร์ไบน์พลังงานลม (Wind turbine) (M.Ermis, 1992:71-83), (DTI, 2004) โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$0.0032 A_{ii} P_{DGi}^3 + P_{DGi} [1.004 A_{ii} + 0.084 Q_{Di} - 0.08 Y_i] + (X_i - A_{ii} P_{Di}) = 0 \tag{3.7}$$

แบบที่สี่ เป็น DG ซึ่งสามารถรักษาระดับแรงดันที่บัส กรณีนี้ได้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งติดตั้ง ณ เจนเนอเรเตอร์บัส (Generator bus) ที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังในระบบไฟฟ้า (Load flow) มีกำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนี้

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di} = -\frac{1}{A_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) \tag{3.8}$$

โดยที่ $A_{ij} = \frac{R_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)}{V_i V_j}$ $B_{ij} = \frac{R_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)}{V_i V_j}$

- P_i = Net real power injection in bus 'i'. Q_i = Net reactive power injection in bus 'i'.
- R_{ij} = The line resistance between bus 'i' and 'j'. V_i = The voltage at bus 'i'.
- δ_i = The angle at bus 'i'. $Loss_k$ = Distribution loss at section k.
- P_L = The real power loss in the system. P_{DGi} = The real power generation DG at bus i.
- P_{Di} = The power demand at bus i. X_i = reactance at bus 'i'.
- Y_i = admittance at bus 'i'.

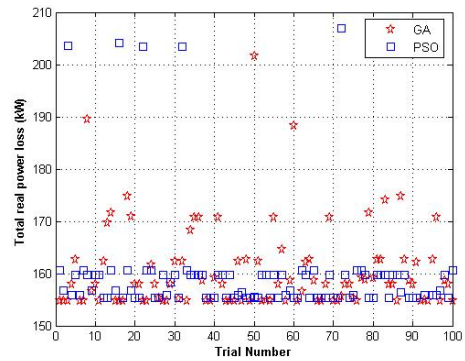
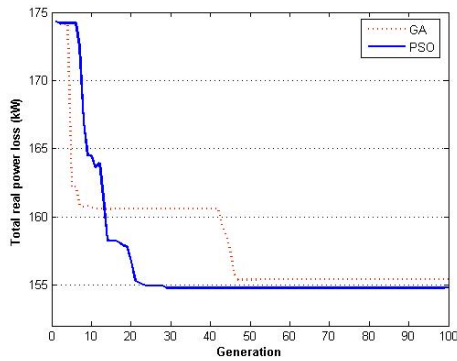
4. ผลการทดสอบ

ระบบไฟฟ้ากำลังที่จะนำมาใช้ทดสอบ โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ คือ ระบบจำหน่ายมาตรฐาน 33 บัส และ 69 บัสของ IEEE ทั้งนี้การทดสอบจัดขึ้นภายใต้สถานการณ์จำลองต่าง ๆ และเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์อื่นๆ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส (M.A. Kasem,2000: 251-255) ของ IEEE เป็นระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วยบัสจำนวน 33 ชุด และมีส่วนของสายป้อนจำนวน 32 ส่วน ระบบนี้มีโหลดไฟฟ้ารวมคิดเป็นกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เท่ากับ 3.72 MW และ 2.3 Mvar ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในระบบคิดเป็น 221.4346 kW และ 150.1784 kVar ตามลำดับ ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส (M.E.Baran 1989:735-743) ของ IEEE เป็นระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วยบัสจำนวน 69 ชุด และมีส่วนของสายป้อนจำนวน 68 ส่วน ระบบนี้มีโหลดไฟฟ้ารวม คิดเป็นกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เท่ากับ 3.80 MW และ 2.69 MVar ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในระบบคิดเป็น 230.0372 kW และ 104.3791 kvar ตามลำดับ ในการทดสอบหาค่าตอบด้วย PSO ทั้งสองระบบ ใช้ตัวแปรดังนี้

Population size=200, Maximum generation (k_{max}) = 100 และ The maximum number of DG = 3

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการเคลื่อนที่กลุ่มของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (PSO) สำหรับระบบทดสอบ 69 บัส ของ IEEE จำนวน 100 ครั้ง พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 7.1564 วินาที ในภาพประกอบ 1

เป็นการแสดงถึงกรณีที่ตั้ง DG แบบที่สอง พบว่าการลู่เข้าของคำตอบที่ดีที่สุดของการคำนวณด้วย PSO กับ GA เปรียบเทียบกันจำนวน 100 ครั้ง จะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี PSO มีแนวโน้มให้คำตอบที่ต่ำกว่าวิธี GA และเวลาที่ใช้ก็สั้นน้อยกว่า ซึ่งระบบทดสอบของ IEEE แบบ 33 บัส และ 69 บัส สำหรับ DG ทั้ง 4 แบบ แสดงในตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 4 พบว่า การคำนวณด้วยวิธี GA กรณีติดตั้ง DG จำนวน 1 เครื่อง ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับวิธี Heuristic Search โดยที่ สำหรับระบบทดสอบ IEEE 33 บัส การติดตั้ง DG แบบที่ 1 จำนวน 1 เครื่อง สามารถลดกำลังสูญเสียจริงและกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ได้ถึง 47.52% และ 43.13% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการติดตั้ง DG แบบที่ 2 หรือแบบที่ 3 หรือแบบที่ 4 ใดๆอย่างหนึ่ง จำนวน 1 เครื่อง ที่สามารถลดกำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ได้เป็น 28.38% และ 27.56% หรือ 26.06% และ 23.11% หรือ 65.69% และ 62.14% ตามลำดับ



ภาพประกอบ 1 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการ GA และ PSO ในการหาคำตอบและการให้คำตอบแต่ละครั้งในระบบ 69 บัส

ตารางที่ 1 Optimal DG Placement for DG Type 1

System	Method	Bus No.	DG Size (MW)	Bus No.	DG Size (MW)	Bus No.	DG Size (MW)	Ploss (kW)	Qloss (kvar)	Loss Reduction %	
										Real	Reactive
33 bus	Load flow analysis							221.4346	150.1784		
	Heuristic search	12	2.4939					116.2678	85.4214	47.49	43.12
	GA	12	2.5118					116.2186	85.4101	47.52	43.13
		27	0.8355	22	1.0588			91.5217	62.4928	58.67	58.39
		27	0.9471	13	0.5373	28	0.7608	83.9684	58.3246	62.08	61.16
	PSO	12	2.4939					116.2678	85.4214	47.49	43.12
		22	1.1079	27	0.8348			91.2417	62.4336	58.80	58.43
		10	1.0774	29	0.7597	22	1.0205	76.1691	52.9743	65.60	64.73
	69 bus	Load flow analysis							230.0372	104.3791	
Heuristic search		56	1.8071					84.9390	41.4520	63.08	60.29
GA		56	1.8039					84.9972	41.4767	63.05	60.26
		57	0.6118	56	1.6922			73.8617	36.8800	67.89	64.67
		5	1.0961	63	0.6490	56	1.7294	74.7338	37.0388	67.51	64.52
		56	1.8074					84.9801	41.4643	63.06	60.28
PSO		56	1.7241	53	0.5194			73.1886	36.7292	68.18	64.81
		56	1.6667	55	0.3759	33	0.5084	70.8786	35.6864	69.19	65.81

ตารางที่ 2 Optimal DG Placement for DG Type 2

System	Method	Bus No.	DG Size (Mvar)	Bus No.	DG Size (Mvar)	Bus No.	DG Size (Mvar)	Ploss (kW)	Qloss (kvar)	Loss Reduction %	
										Real	Reactive
33 bus	Load flow analysis							221.4346	150.1784		
	Heuristic search	22	1.2092					158.6780	108.7820	28.34	27.56
	GA	22	1.2451					158.5913	108.7943	28.38	27.56
		19	0.5373	22	1.0961			149.0894	101.4992	32.67	32.41
		10	0.7235	24	0.6490	16	0.7235	152.8712	105.6746	30.96	29.63
	PSO	22	1.1870					158.7799	108.8075	28.29	27.55
		25	0.4367	22	1.0146			148.6830	101.0767	32.85	32.70
		27	0.3692	22	1.0008	10	0.4907	144.9050	98.7541	34.56	34.24
	69 bus	Load flow analysis							230.0372	104.3791	
Heuristic search		56	1.2864					155.4120	72.0650	32.44	30.96
GA		56	1.2824					155.3853	72.0560	32.45	30.97
		25	0.7235	54	0.9098			161.2377	74.5979	29.91	28.53
		8	0.5000	24	0.7980	58	1.3196	153.8239	71.1782	33.13	31.81
PSO		56	1.3266					155.2927	71.9696	32.49	31.05
		53	0.3679	56	1.2478			149.6289	69.6846	34.95	33.24
		56	1.2025	61	0.2332	33	0.3707	148.3148	69.1167	35.53	33.78

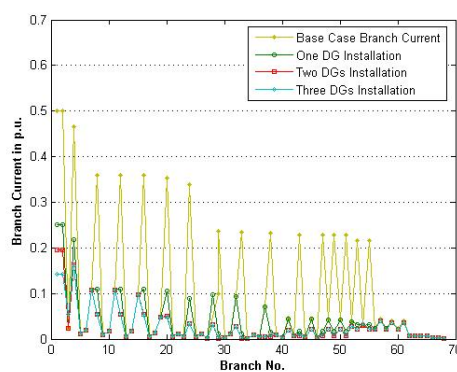
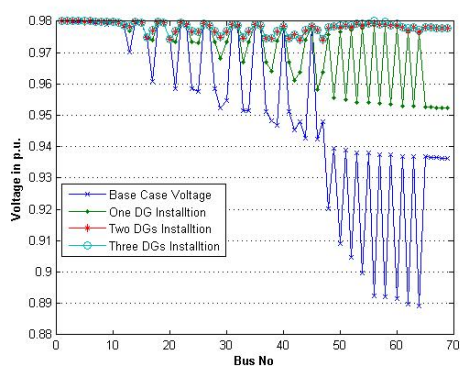
ตารางที่ 3 Optimal DG Placement for DG Type 3

System	Method	Bus No.	DG Size (MVA)	Bus No.	DG Size (MVA)	Bus No.	DG Size (MVA)	Ploss (kW)	Qloss (kvar)	Loss Reduction %	
										Real	Reactive
33 bus	Load flow analysis							221.4346	150.1784		
	Heuristic search	12	2.5587					163.8417	115.5620	26.01	23.05
	GA	12	2.5465					163.7296	115.4774	26.06	23.11
		2	1.3306	15	2.3581			165.5323	120.9607	25.25	19.46
		3	0.7997	7	1.1564	14	1.8371	172.6398	119.5674	22.04	20.38
	PSO	12	2.5592					163.8465	115.5656	26.01	23.05
		2	1.4383	12	2.5030			164.2177	115.5997	25.84	23.03
		3	0.6246	12	2.5024	2	1.0946	166.8321	117.0974	24.66	22.03
	69 bus	Load flow analysis							230.0372	104.3791	
Heuristic search		56	1.8836					161.6515	73.9285	29.73	29.17
GA		56	1.8739					161.5671	73.9073	29.76	29.19
		6	1.4732	56	1.9108			161.9951	74.1490	29.58	28.96
		4	1.0211	20	1.6176	58	1.3661	173.6910	86.2349	24.49	17.38
PSO		56	1.8888					161.7076	73.9445	29.70	29.16
		56	1.8885	3	2.1266			161.6967	73.9429	29.71	29.16
		56	1.8862	3	2.0101	2	0.5143	161.6938	73.9705	29.71	29.13

ตารางที่ 4 Optimal DG Placement for DG Type 4

System	Method	Bus No.	DG Size (MW)	Bus No.	DG Size (MW)	Bus No.	DG Size (MW)	Ploss (kW)	Qloss (kvar)	Loss Reduction %		
										Real	Reactive	
33 bus	Load flow analysis							221.4346	150.1784			
	Heuristic search	12	2.4939					71.3837	57.4205	67.76	61.77	
	GA	22	1.3569					75.9852	56.8591	65.69	62.14	
		27	1.0565	22	1.0565			33.4937	24.1082	84.87	83.95	
		19	1.1531	10	0.5675	22	0.7665	20.7152	15.3019	90.65	89.81	
	PSO	12	2.4939					70.9487	57.2086	67.96	61.91	
		22	1.1136	27	0.8285			29.8197	21.2726	86.53	85.84	
		28	0.1481	22	1.0387	29	0.7598	29.7697	21.3455	86.56	85.79	
	69 bus	Load flow analysis							230.0372	104.3791		
		Heuristic search	56	1.8071					23.9885	14.9305	89.57	85.70
GA		56	1.5804					28.5221	16.7665	87.60	83.94	
		42	0.7419	60	1.371			16.9934	12.2539	92.61	88.26	
		61	0.5504	50	0.5561	58	1.1418	24.0744	15.2767	89.53	85.36	
PSO		56	1.8074					23.5938	14.6854	89.74	85.93	
		56	1.7252	53	0.517			7.3416	8.2134	96.81	92.13	
		56	1.7448	4	0.23	55	0.5102	7.3433	8.1907	96.81	92.15	

ภายหลังจากการติดตั้ง DG ในตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมแล้ว จะทำให้คุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าของระบบที่ตำแหน่งบัสต่างๆ ดีขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า ถ้าปราศจาก DG แรงดันไฟฟ้าที่บัส 64 จะตกมากที่สุด เหลือ 0.8891 p.u. และเมื่อติดตั้ง DG แบบที่ 4 จำนวน 3 เครื่อง จะทำให้แรงดันตกลดลง โดยมีค่าแรงดันที่บัส เป็น 0.9772 p.u.



ภาพประกอบ 2 แรงดัน และกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งบัส ก่อนและหลังการติดตั้ง DG

ในทำนองเดียวกัน พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายป้อนแต่ละส่วน ก็มีค่าลดลงด้วย ทำให้โอกาสที่ตัวนำของสายป้อนแต่ละส่วน จะมีโหลดไฟฟ้าเกินตัว ลดลง ซึ่งจะเห็นว่า กระแสไฟฟ้าในสายป้อนที่ 1 จากเดิมมีค่า 0.5008 p.u. ลดลงเหลือ 0.2516 p.u. หรือ 0.1963 p.u. หรือ 0.1427 p.u. เมื่อติดตั้ง DG จำนวน 1 เครื่อง หรือ 2 เครื่อง หรือ 3 เครื่อง ตามลำดับ

5. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบของ OPDG ด้วยวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (PSO) สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ซึ่งได้มีการทดสอบคำนวณเปรียบเทียบกับวิธีกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม (GA) โดยใช้ระบบไฟฟ้ามาตรฐาน 33 บัส และ 69 บัส ของ IEEE จากผลการทดสอบพบว่า กระบวนการคำตอบด้วยวิธี PSO ให้ผลการคำนวณที่ดีกว่าวิธี GA ไม่ว่าจะทดสอบกับระบบไฟฟ้ามาตรฐาน 33 บัส หรือ 69 บัส ของ IEEE ก็ตาม โดยสามารถค้นหาตำแหน่งบัส และขนาดของ DG ที่เหมาะสมที่สุด ที่จะใช้ติดตั้ง แล้วทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียจริง และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟ มีค่าต่ำที่สุดภายในเวลาอันสั้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยมีค่าแรงดันตก ลดน้อยลง อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำของสายป้อนแต่ละส่วน ยังมีค่าลดลงด้วย ทำให้สายป้อนแต่ละส่วน มีขีดความสามารถรับกระแสไฟฟ้าของโหลดได้เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม อนาคตควรจะได้มีการพิจารณา การเลือกใช้ DG ต่างชนิดกัน ติดตั้งในระบบร่วมกัน ในคราวเดียวกัน และทดสอบกับระบบจำหน่ายแบบอื่นๆ ด้วย

6. รายการอ้างอิง

- Caisheng Wang and M. Hashem Nehrir, 2004. "Analytical Approaches for Optimal Placement of distributed Generation Sources in Power Systems." **IEEE Transactions on Power Systems**. 19, 4 : 2068-2076.
- DTI, 2004. "Network Performance Benefits of Energy Storage for a Large indFarm. Retrieved 2006. from" <http://www.dti.gov.uk/renewables/publications/pdfs/ke1002460000.pdf/>
- Emad Elbeltagi, Tarek Hegazy and Donald Grierson, 2005. "Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms." **Advanced Engineering Informatics**. 19: 43-53.
- I.O. Elgerd, 1971. **Electric Energy System Theory: an Introduction**: McGraw Hill .
- Kennedy J and Eberhart R, 1995. "Particle Swarm Optimizer." **IEEE International Conference on Neural Networks (Perth, Australia), IEEE Service Center Piscataway, NJ, IV**. 1942-1948.
- M.A. Kashem, V. Ganapathy, G.B. Jasmon and M.I. Buhari, 2000. "A Novel Method for Loss Minimization in Distribution Networks." **Proceedings of International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**. 251-255.
- M.E. Baran and F.F. Wu, 1989. "Optimal Sizing of Capacitor Placed on Radial Distribution Systems." **IEEE Trans, Vol. PWRD**. 2: 735-743.
- M. Ermis, H. B. Eratn, M. Demirekler, B. M. Saribatir, Y. Uctung, M. E. Sezer etal, 1992. "Various Induction Generator Scheme for Wind Power Electricity Generation." **Electric Power Systems Research**. 23: 71-83.
- Thomas Ackermann, Göran Andersson and Lennart Söder, 2001. "Distributed generation: a definition." **Electric Power Systems Research**. 57: 195-204.
- Wichit Krueasuk and Weerakron Ongsakul, 2006. "Optimal Placement of Distributed Generation Using Particle Swarm Optimization." **Proc.AUPEC 2006** .