



มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ  
กระจายเพื่อลดกำลังจริงสูญเสียในระบบจำหน่าย  
โดยวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

OPTIMAL PLACEMENT SIZE AND LOCATION OF DG USING  
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

วิจิต เครือสุข

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2550

## คำนำ

รายงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการสนับสนุนให้บุคลากรภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุมได้มีโอกาสผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและเผยแพร่ออกสู่ภายนอก โดยให้อาจารย์เสนอโครงการที่สำนักวิจัยซึ่งมีทั้งการวิจัยวิชาการและการวิจัยสถาบัน ทั้งนี้เพื่อให้คณาจารย์ได้พัฒนาความรู้และประสบการณ์ทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการขอรับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากหน่วยงานภายนอกและนำไปสู่การขยายกรอบความร่วมมือทางวิชาการกับหน่วยงานภายนอกต่อไป

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยวิชาการเพื่อพัฒนากระบวนการคำนวณ เพื่อหาคำตอบการหาค่าตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ซึ่งในที่นี้คือการหาคำตอบ เพื่อลดกำลังจริงสูญเสีย ในระบบจำหน่ายให้ต่ำที่สุด

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิชาการในด้านระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป และหากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย และยินดีน้อมรับคำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

นายวิจิต เครือสุข

ผู้วิจัย

กรกฎาคม 2551

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมอย่างสูงที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณทั้งหมดและได้ให้เวลาในการทำโครงการวิจัยนี้ รวมทั้งขอขอบคุณสำนักวิจัยที่ได้อำนวยความสะดวกและประสานงานอย่างดีเยี่ยมในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วีรกร อ่องสกุล ผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุงตลอดการดำเนินงานและการเขียนรายงานวิจัยนี้

## Acknowledgements

The author highly acknowledges Sripatum University for fully support of this research. Thanks are also expressed to his colleagues in the Bureau of Research for their kind and crucial co-operations. The author also wishes to express his profound and sincere thanks to Associate Professor Dr. Weerakorn Ongsakul, advisor of the research, for his valuable guidance and timely suggestions throughout the process of the research.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

**หัวข้อวิจัย :** การหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเพื่อลดกำลังจริงสูญเสียในระบบจำหน่ายโดยวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

**ผู้วิจัย :** นายวิจิต เครือสุข

**หน่วยงาน :** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

**ปีที่พิมพ์ :** พ.ศ. 2551

---

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการคำนวณหาตำแหน่งและขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายโดยวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวัตถุประสงค์ของการหาคำตอบในที่นี่คือ เพื่อลดกำลังจริงสูญเสียในระบบจำหน่ายให้มีค่าต่ำสุด วิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคนี้ถูกพัฒนาโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหาคำตอบตำแหน่ง และขนาดกำลังการผลิต ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มีจำนวนมากกว่าหนึ่งเครื่องและสี่แบบ ซึ่งแต่ละครั้งในการคำนวณจะต้องพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเพื่อหาค่ากำลังจริงสูญเสีย การทดสอบได้มีการเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคกับวิธีการคัดเลือกพันธุกรรม ซึ่งได้คำนวณกับระบบไฟฟ้ามาตรฐาน 33 บัส และ 69 บัส ของ IEEE

จากผลการทดสอบวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่นำเสนอพบว่า การหาตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายหลายเครื่อง ได้คำตอบที่มีกำลังจริงสูญเสียในระบบไฟฟ้ามาตรฐานได้ต่ำสุดแต่ละแบบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยมีค่าแรงดันตก ลดน้อยลง อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำของสายป้อนแต่ละส่วน ยังมีค่าลดลงด้วย

**คำสำคัญ :** เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย, ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย,

วิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาค, วิธีการคัดเลือกพันธุกรรม

**Research Title** : Optimal Placement size and location of DG Using Particle Swarm Optimization  
**Name of Researcher** : Mr. Wichit Krueasuk  
**Name of Institute** : Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University  
**Year of Publication** : B.E. 2551

---

### ABSTRACT

This report proposes a particle swarm optimization (PSO) algorithm for optimal placement of distributed generated (DG) in primary distribution systems for minimizing the total real power loss. The proposed PSO algorithm is used to determine optimal sizes and locations 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 reductions for each of four types of optimally placed multi-DGs. Moreover, voltage profile improvement and branch current reduction are obtained.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

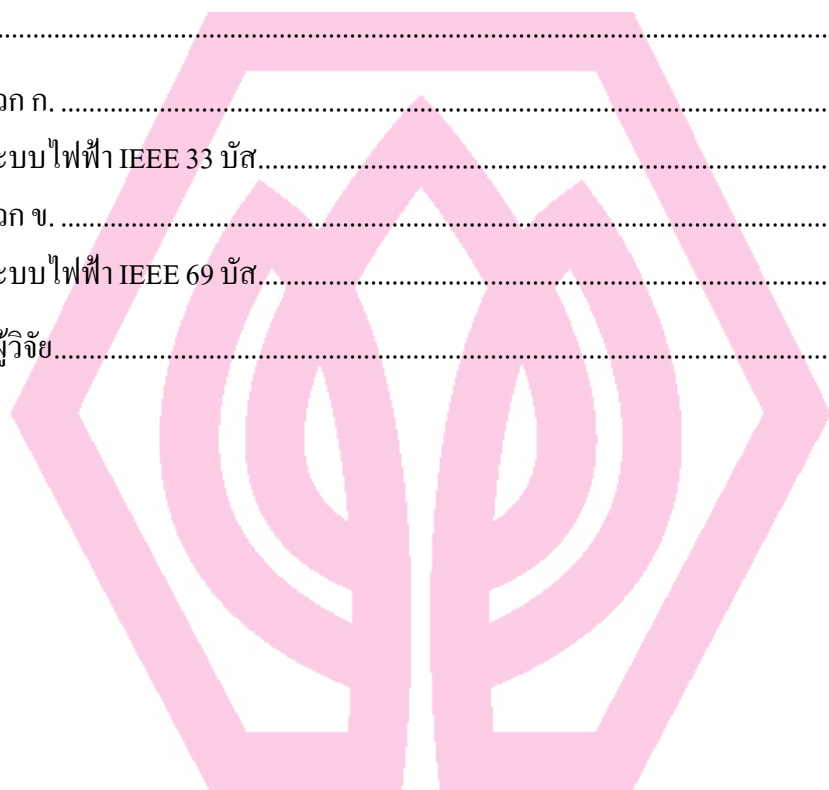
Keywords: Distributed Generation, DG types, Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 คำถามการวิจัย.....	2
1.4 สมมุติฐานการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.6 นิยามศัพท์.....	3
บทที่ 2 .....	4
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย .....	4
2.2 ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย .....	6
2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.4 สรุป.....	10
บทที่ 3 .....	11
ระเบียบวิธีวิจัย .....	11
3.1 การวางหลักวิธีในการหาคำตอบ (PROBLEM FORMULATION).....	11
3.2 กระบวนการคำนวณ (COMPUTATIONAL PROCEDURE).....	12
บทที่ 4 .....	16
การทดสอบวิธีการ .....	16
บทที่ 5 .....	23
สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	23

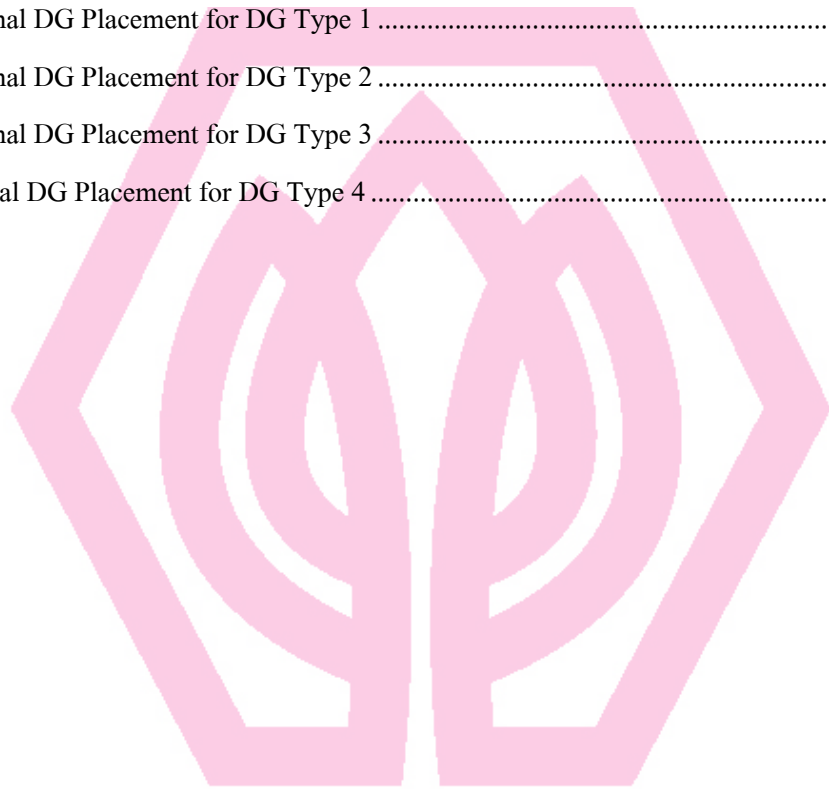
## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	24
ภาคผนวก.....	27
ภาคผนวก ก.....	28
ข้อมูลระบบไฟฟ้า IEEE 33 บัส.....	28
ภาคผนวก ข.....	31
ข้อมูลระบบไฟฟ้า IEEE 69 บัส.....	31
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	36



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 PSO Compute of The 69 bus test system.....	17
4.2 Optimal DG Placement for DG Type 1 .....	20
4.3 Optimal DG Placement for DG Type 2 .....	20
4.4 Optimal DG Placement for DG Type 3 .....	21
4.5 Optimal DG Placement for DG Type 4 .....	21



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY



## สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 การครอสโอเวอร์แล้วทำให้เกิดรุ่นลูก.....	7
2.2 แนวคิดของการค้นหาจุดตามแบบ PSO.....	8
3.1 กระบวนการคำนวณ.....	14
4.1 แผนภาพเส้นเดียว (one-line diagram) ของระบบมาตรฐาน IEEE 33 บัส.....	16
4.2 แผนภาพเส้นเดียว (one-line diagram) ของระบบมาตรฐาน IEEE 69 บัส.....	17
4.3 Convergence characteristic of the 69 bus test system.....	18
4.4 The total loss distribution from 100 trials of a 69 bus test system.....	18
4.5 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งบัส ก่อนและหลังการติดตั้ง DGsแบบที่ 4 จำนวน 3 เครื่อง.....	22
4.6 กระแสไฟฟ้าในสายป้อนก่อนและหลังการติดตั้ง DG แบบที่ 4 จำนวน 3 เครื่อง.....	22

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิธีการหาคำตอบของปัญหาการหาตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Optimal Placement of DG : OPDG) ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยใช้วิธีการและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน รวมไปถึงการพิจารณาข้อจำกัดของระบบที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการทำงาน อย่างไรก็ตาม วิธีการหาคำตอบ ที่กล่าวถึงข้างต้นเป็นการหาคำตอบที่มุ่งเน้นเพื่อลดกำลังสูญเสียไฟฟ้าจริง (Real Power losses) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) โดยวิธีการคำนวณเชิงปัญญาประดิษฐ์

ทั้งนี้วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่มีผู้เสนอไว้มีสองวิธี คือ กระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) และการหาคำตอบแบบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO) ซึ่งวิธีการ PSO เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นหลังสุดและมีแนวโน้มจะให้คำตอบได้ในระยะเวลาคำนวณที่สั้นกว่าวิธี GA และในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้งาน OPDG ในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าจริงได้แล้วในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามวิธีการหาคำตอบของ OPDG ยังคงต้องการการพัฒนาอีกมาก

การแก้ปัญหา OPDG มีพื้นฐานอยู่บนวิธีการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุด (Optimization Techniques) ของสมการวัตถุประสงค์ (Objective Functions) โดยเป็นไปตามข้อจำกัด (Constraints) ของระบบ วิธีการหาคำตอบสามารถทำได้หลายวิธี (Wood and Wallenberg, 1996) เช่น โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming), โปรแกรมควอดราติก (Quadratic Programming), วิธีการนิวตัน (Newton's Method) และ คอนจูเกตเกรเดียนต์ (Conjugate Gradient) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ การแก้ปัญหา OPDG ด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้น ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในวิธีการที่กล่าวถึงทั้งหมดข้างต้น วิธีการ PSO ถือว่าเป็นวิธีที่ถูกเสนอขึ้นหลังสุด (Wichit Krueasuk and Weerakorn Ongsakul, 2005) วิธีการ PSO สามารถประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในปัญหาที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น และได้รับการประยุกต์ใช้งานมากขึ้นในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังเนื่องจากสามารถให้ผลลัพธ์ที่เป็นคำตอบหรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดในระยะเวลาอันสั้น

อย่างไรก็ตามการพัฒนาวิธีการดังกล่าวข้างต้นเป็นการหาคำตอบในลักษณะการหาตำแหน่ง และขนาดกำลังการผลิต ของ DG ซึ่งการพัฒนาวิธีการหาคำตอบของปัญหา OPDG ที่สามารถลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่าย ให้มีค่าต่ำที่สุดหลังจากการติดตั้งของ DG

และจะต้องอยู่ในข้อจำกัดของค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสและค่ากระแสไฟฟ้าที่สายส่ง ยังไม่มีการทำอย่างจริงจัง แม้ว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุม-บริหารจัดการระบบไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความซับซ้อนในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ

1. เพื่อพัฒนาวิธีการหาตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบจำหน่าย เพื่อลดกำลังสูญเสียของไฟฟ้าจริง ในระบบจำหน่าย ด้วยวิธีการหาคำตอบแบบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO)
2. เพื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการ PSO ในการหาคำตอบ ตำแหน่ง และขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมของ DG กับวิธี GA

## 1.3 คำถามการวิจัย

วิธีการหาคำตอบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดจะสามารถแก้ปัญหา การหาตำแหน่ง และขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation: DG) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใดและ จะมีข้อดีและข้อจำกัดอะไรบ้างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี GA

## 1.4 สมมุติฐานการวิจัย

วิธีการหาคำตอบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดที่เสนอในงานวิจัยจะสามารถใช้หาคำตอบของ ตำแหน่งและ ขนาดกำลังการผลิตของ DG ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้โดยมีแนวโน้มที่จะให้คำตอบของปัญหา ได้ดี โดยเฉพาะในกรณีที่สามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้มากที่สุด

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับตอบปัญหา OPDG ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเป็นการนำเสนอการหาคำตอบของ ตำแหน่งและ ขนาดกำลังการผลิตของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อให้กำลังงานไฟฟ้าจริงสูญเสียในระบบมีขนาดต่ำสุด ด้วยวิธีการหาคำตอบแบบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO) (ทั้งนี้ค่าพิกัดกำลังของสายส่งไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า และแรงดัน ไฟฟ้าที่บัสจะเป็นตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาในกระบวนการหาคำตอบของ PSO วิธีที่นำเสนอจะทดสอบด้วยระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน 33 บัสและ 69 บัส ของ M.A. Kashem, V. Ganapathy, G.B. Jasmon and M.I.

Buhari, "A Novel Method for Loss Minimization in Distribution Networks," proceeding of International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, pp251-255, 2000. และ M.E. Baran and F.F. Wu, "Optimal Sizing of Capacitor Placed on Radial Distribution Systems," IEEE Trans, Vol. PWRD-2, pp735-743, 1989. ที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

- ระบบไฟฟ้า 33 บัส สายส่ง 32 เส้น ภาระทางไฟฟ้ามีพิกัด 3.72 MW และ 2.3 Mvar กำลังสูญเสียในระบบมีขนาด 221.4346 kW และ 150.1784 kVar
- ระบบไฟฟ้า 69 บัส สายส่ง 68 เส้น ภาระทางไฟฟ้ามีพิกัด 3.80 MW และ 2.69 MVar กำลังสูญเสียในระบบมีขนาด 230.0372 kW และ 104.3791 kvar

## 1.6 นิยามศัพท์

### ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวัตถุประสงค์ในการหาคำตอบ เพื่อลดกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียในระบบจำหน่าย โดยมีเป้าหมายหลักคือ กำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียในระบบจำหน่ายมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

### การหาคำตอบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization)

วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการหาคำตอบที่เอื้อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยเป็นกระบวนการที่เลียนแบบการเคลื่อนตัวของอนุภาคและสิ่งมีชีวิตที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

### ฟังก์ชันผลรวมของกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย (The total real power losses function)

ฟังก์ชันผลรวมของกำลังไฟฟ้าจริงสูญเสีย เกิดจากหลังการหาตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย หรือหน่วยผลิตไฟฟ้ารายย่อย (Distributed Generation, DG) ถูกจำกัดความเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับบริเวณของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเชื่อมต่อเข้ากับระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือไม่ก็ได้ แต่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงควรเชื่อมโยง DG เข้ากับระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้ DG สามารถส่งไฟฟ้าเข้าระบบได้เมื่อมีไฟฟ้าเหลือใช้ และสามารถดึงไฟฟ้าจากระบบมาใช้เมื่อความต้องการมากกว่าที่ผลิตได้ โดยปกติ DG จะมีขนาดเล็กแต่ก็ไม่มีข้อจำกัดชัดเจนว่าต้องมีขนาดไม่เกินเท่าใด อาจมีขนาดเป็นกิโลวัตต์ (kW) จนถึงหลายเมกะวัตต์ (MW) ก็ได้ นอกจากนี้ DG อาจใช้เป็นหน่วยกำเนิดไฟฟ้า หรือหน่วยกำเนิดไฟฟ้าสำรองก็ได้ ซึ่งประโยชน์หลักๆ ได้แก่ ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak period) อัตราค่าไฟฟ้าแพง ผู้ประกอบการอาจจะหลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าจากระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า แต่ใช้ไฟฟ้าบางส่วนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนเอง ที่มีต้นทุนต่ำกว่า เพื่อลดภาระค่าไฟฟ้า และ DG บางประเภทนอกจากให้พลังงานไฟฟ้าแล้วยังให้พลังความร้อนได้อีก เช่น Combined Heat and Power (CHP) พลังความร้อนที่ได้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้อย่างมาก เป็นต้น

ด้วยเหตุผลในทางเศรษฐศาสตร์ การติดตั้ง DG เข้ากับระบบไฟฟ้าจึงเป็นปัญหาวิจัยที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อ DG หลายแบบ เช่น เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) หรือ เทอร์ไบน์พลังน้ำขนาดเล็ก (Micro-turbine) ถูกนำไปติดตั้งในท้องถิ่นต่างๆ ช่วยลดภาระการลงทุนขยายระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าไปได้มาก การกำหนดขนาดการผลิต และตำแหน่งที่สมควรติดตั้ง อย่างเหมาะสมที่สุดจึงเป็นเรื่องสำคัญ และถูกนำมาพิจารณา หาวิธีการคำนวณซึ่งก่อให้เกิดคำตอบที่ดียิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามจากรายงานการวิจัยต่างๆ พบว่า ส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการติดตั้ง DG ในระบบจำหน่ายปฐมภูมิ (Primary distribution) ซึ่งวิธีการหาดำเนินการและขนาดของ DG ประกอบด้วยวิธีการต่างๆ กัน แต่ไม่พบว่า มีการวิจัยเพื่อหาคำตอบในการติดตั้ง DG ต่างแบบกัน ดังนั้น การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของ DG แต่ละชนิด แล้วนำมาใช้ในกระบวนการคำนวณหาดำเนินการและขนาดที่เหมาะสมที่สุด จะทำให้ได้คำตอบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในการวิจัยนี้ จะเลือก DG จำนวน 4 แบบ ได้แก่

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

$$P_{DGi} = P_{Di} - \frac{1}{A_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) \quad (2.1)$$

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

$$Q_{DGi} = Q_{Di} - \frac{1}{A_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (A_{ij}Q_j + B_{ij}P_j) \quad (2.2)$$

3. แบบที่สาม เป็น DG ซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง แต่ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เช่น เทอร์ไบน์พลังงานลม (Wind turbine) โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$0.0032 A_{ii} P_{DGi}^3 + P_{DGi} [1.004 A_{ii} + 0.08 A_{ii} Q_{Di} - 0.08 Y_i] + (X_i - A_{ii} P_{Di}) = 0 \quad (2.3)$$

4. แบบที่สี่ เป็น DG ซึ่งสามารถรักษาระดับแรงดันที่บัส กรณีนี้ได้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งติดตั้ง ณ เจนเนอเรเตอร์บัส (Generator bus) ที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังในระบบไฟฟ้า (Load flow) มีกำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนี้

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di} = -\frac{1}{A_{ii}} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) \quad (2.4)$$

การหาตำแหน่งและขนาดของ DG ดังกล่าว มีเงื่อนไขที่จะลดกำลังสูญเสียในระบบสายจำหน่ายให้เหลือน้อยที่สุด ซึ่งกำลังสูญเสีย สามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + B_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j) \quad (2.5)$$

โดยที่

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

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

ซึ่งสมการจุดประสงค์ (Objective function) เป็นดังนี้

$$\text{Minimize } P_L = \sum_{k=1}^{N_{sc}} Loss_k \quad (2.6)$$

ภายใต้ข้อจำกัด (Constraints) ต่างๆ คือ

$$\text{Power balance constraints : } \sum_{i=1}^N P_{DGi} = \sum_{i=1}^N P_{Di} + P_L$$

$$\text{Voltage constraints: } |V_i|^{\min} \leq |V_i| \leq |V_i|^{\max}$$

Current limits:  $|I_{ij}| \leq |I_{ij}|^{\max}$

เมื่อ  $P_i$  = 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'.

$\delta_i$  = The angle at bus 'i'.

$Loss_k$  = Distribution loss at section  $k$ .

$P_L$  = The real power loss in the system.

$P_{DG_i}$  = The real power generation DG at bus  $i$ .

$P_{Di}$  = The power demand at bus  $i$ .

## 2.2 ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย

เนื่องจากปัญหาวิจัยนี้ มุ่งใช้วิธีการหาคำตอบแบบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO) แล้วนำคำตอบที่ดีที่สุด ไปเปรียบเทียบกับวิธีกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) หัวข้อนี้จึงเป็นการนำเสนอหลักวิธีการคำนวณทั้งสองแบบ ดังนี้

### 2.2.1 กระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม

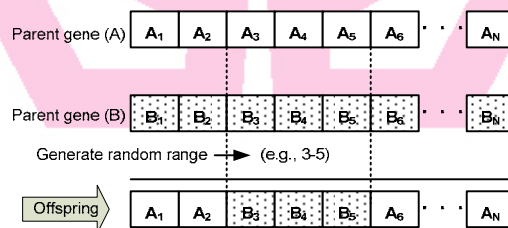
เป็นกระบวนการค้นหา (search) คำตอบแบบหนึ่ง ที่มีพื้นฐานการเลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรมตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต โดยที่พันธุ์ดีและเหมาะสมกว่า จะถูกคัดเลือกให้คงอยู่ หลักวิธี GA จึงมักถูกนำไปใช้ ในการแก้ปัญหาออปติไมเซชัน (optimization problem) เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ภายใต้เงื่อนไข (constraint) และฟังก์ชันของจุดประสงค์ (objective function) ที่กำหนด โดยเริ่มต้นจากการสุ่มค่าคำตอบขึ้นมา จำนวนหนึ่ง เรียกว่าเป็นประชากร (population) โดยที่แต่ละประชากร เรียกว่า โครโมโซม (chromosome) ในแต่ละโครโมโซม ประกอบด้วยยีน (gene) หลายๆ ยีนเรียงต่อกัน โดยมากจะแทนแต่ละยีนด้วยเลขไบนารี (binary) จากนั้นจึงพิจารณาประชากรทั้งหมดว่ามีความเหมาะสมเพียงใด โดยการนำไปแทนในฟังก์ชันจุดประสงค์ ซึ่งผลลัพธ์แสดงถึงค่าความเหมาะสม (fitness value) ของประชากรนั้น เมื่อทราบค่าความเหมาะสมแล้วจึงทำการคัดเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ (parent selection) โดยอาจจะใช้วิธีการที่เรียกว่า วงล้อรูเล็ตต์ (roulette-wheel method) ซึ่งจะเป็นการนำโครโมโซมรุ่นพ่อและรุ่นแม่ ถ่ายทอดไปยังรุ่นลูก (offspring) โดยตรง หรืออาจใช้วิธีการอื่นๆ ก็ได้

หลังจากที่ได้พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์แล้ว สุ่มเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ มาผลิตรุ่นลูก เป็นประชากรรุ่นใหม่ ที่เกิดขึ้นมาด้วยวิธีการกลายพันธุ์หรือมิวเตชัน (mutation) หรือการครอสโอเวอร์(crossover)

ก. การมิวเตชัน เป็นการเปลี่ยนค่าของยีนในโครโมโซมตามตำแหน่งที่สุ่มขึ้นมา โดยที่ถ้าค่าของยีน(แบบไบนารี)ในตำแหน่งที่สุ่มขึ้นมานั้น เป็น 1 จะถูกเปลี่ยนเป็น 0

ข. การครอสโอเวอร์ เป็นการสลับยีน หรือชุดของยีนระหว่างโครโมโซม ตามตำแหน่งที่สุ่มขึ้นมา จะได้โครโมโซมใหม่ที่เป็นรุ่นลูก มีทั้งยีนรุ่นพ่อและรุ่นแม่ผสมกัน

เมื่อผ่านกระบวนการเหล่านี้แล้วจะได้ประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งเกิดจากการนำโครโมโซมที่ดีไปแทนที่รุ่นพ่อรุ่นแม่ที่ด้อยกว่า ทำกระบวนการเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงยุคสุดท้ายซึ่งโครโมโซมที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้นเอง อย่างไรก็ตาม ถ้าหากการลู่เข้าหาคำตอบเกิดขึ้นรวดเร็วเกินไป (premature convergent) คำตอบที่ได้ อาจจะเป็นความเหมาะสมเฉพาะที่ (local minima) ซึ่งหมายถึงว่ามีคำตอบอื่นที่ดีกว่า แต่กระบวนการค้นหาได้ข้ามคำตอบนั้นไป อาจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการสุ่มหาด้วยเทคนิคความน่าจะเป็น จึงจะต้องอาศัยเทคนิคอื่นๆเข้ามาช่วยในกระบวนการค้นหาคำตอบด้วย เช่น การคัดเอาโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นมารวมกัน (elitist selection) หรือการปรับแต่งค่าความเหมาะสม (fitness value) ของทุกโครโมโซมเสียใหม่ เพื่อไม่ให้มีรุ่นลูกเกิดขึ้นซ้ำมากเกินไป หรือที่เรียกว่า การสเกลเชิงเส้น (linear scaling) เป็นต้น



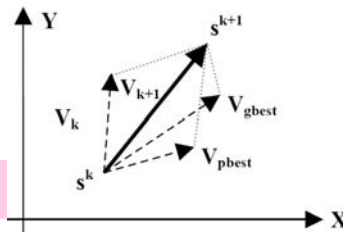
ภาพประกอบ 2.1 การครอสโอเวอร์แล้วทำให้เกิดรุ่นลูก

### 2.2.2 การเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

เป็นการค้นหาคำตอบที่มีพื้นฐานเลียนแบบพฤติกรรมทางสังคมและพลศาสตร์การเคลื่อนไหวของฝูงแมลง นกหรือปลา ซึ่งถูกนำเสนอโดย Kennedy and Eberhart เหมาะสำหรับปัญหาที่ตัวแปรมีค่าต่อเนื่อง ซึ่งประสบความสำเร็จในการนำไปใช้หาคำตอบของปัญหาที่หลากหลาย โดยมีข้อดีหลายประการ เช่น ใช้พารามิเตอร์ของอัลกอริทึมน้อย สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก เป็นต้น ซึ่งคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จะถูกค้นหาอย่างเป็นขั้นเป็นตอน โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค (particle) ตามเวลาภายในสเปซของการค้นหา (search space) ซึ่งการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคจะขึ้นกับประสบการณ์



ของมันเอง (ซึ่งเรียกค่านี้ว่า Pbest) และตามประสิทธิภาพของอนุภาคที่อยู่ข้างเคียง (เรียกค่านี้ว่า Gbest) แนวความคิดนี้แสดงด้วยเวกเตอร์ความเร็ว ในภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.2 แนวคิดของการค้นหาจุดตามแบบ PSO

ความเร็วแต่ละค่าของเอเจนต์ (agent) หาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$v_{id}^{k+1} = \omega v_{id}^k + c_1 \text{rand} \times (pbest_{id} - s_{id}^k) + c_2 \text{rand} \times (gbest_d - s_{id}^k)$$

ตำแหน่งของอนุภาคใดๆ ในสเปซของการค้นหาจะแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$s_{id}^{k+1} = s_{id}^k + v_{id}^{k+1}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ d = 1, 2, \dots, m$$

โดยการกำหนดฟังก์ชันค่าถ่วงน้ำหนัก คือ

$$\omega_i = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{k_{\max}} \cdot k$$

ค่าของ  $C_1$  และ  $C_2$  เป็น 1-2 แต่หลายๆ กรณีเลือกใช้ค่าเท่ากับ 2

ส่วนค่าของ  $\omega_{\min}$  and  $\omega_{\max}$  เป็น 0.4 และ 0.9

เมื่อ  $S^k$  = Current searching point.

$S^{k+1}$  = Modified searching point.

$V^k$  = Current velocity of agent  $i$ .

$V^{k+1}$  = Modified velocity of agent  $i$ .

$v_{pbest}$  = Velocity based on pbest.

$v_{gbest}$  = Velocity based on gbest.

$N$  = Number of particles in a group.

$m$  = Number of members in a particle.

$pbest_i$  = pbest of agent  $i$ .

$gbest_i$  = gbest of the group.

$\omega_i$  = Weight function for velocity of agent  $i$ .

$c_i$  = Weight coefficients for each term.

$\omega_{\min}$  = The minimum weights.

$\omega_{max}$  = The maximum weights.

$k$  = The current iteration.

$k_{max}$  = The maximum iteration

### 2.3 ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การกำหนดตำแหน่งและ ขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Optimal Placement of DG : OPDG) เป็นปัญหาที่มีการสร้างสมการคณิตศาสตร์ขนาดใหญ่ และซับซ้อน ซึ่งต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณ ทั้งนี้ ได้มีการวิจัยและพัฒนากระบวนการคำนวณและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้หาคำตอบของปัญหา OPDG กันมาอย่างต่อเนื่อง และได้มีการนำเอาวิธีการหาคำตอบของปัญหา โดยใช้วิธีการและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน รวมไปถึงการพิจารณาข้อจำกัดของระบบที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการทำงาน ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนวิธีการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุด (Optimization Techniques) ของสมการวัตถุประสงค์ (Objective Functions) โดยเป็นไปตามข้อจำกัด (Constraints) ของระบบ วิธีการหาคำตอบสามารถทำได้หลายวิธี (Wood and Wallenberg, 1996 ) เช่น โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming), โปรแกรมควอดราติก (Quadratic Programming), วิธีการนิวตัน (Newton's Method) และ คอนจูเกตเกรเดียน (Conjugate Gradient) แต่ละวิธีมีข้อดี – ข้อเสีย และข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป เช่น

- วิธีการ Newton: วิธีการนี้ให้คำตอบที่เร็วแต่ก็ยังมีควมยากลำบากในการพิจารณาปัญหาที่มีข้อจำกัดเป็นอสมการเช่นกัน

- วิธีการ โปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming, LP): วิธีการ LP สามารถใช้กับปัญหาที่มีข้อจำกัดเป็นอสมการได้ดี ทำให้ได้รับการใช้งานแพร่หลาย โดยการพิจารณาปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นจะนิยมใช้วิธีการทำให้เป็นเชิงเส้น (Linearization) ก่อน

- วิธีการ Quadratic Programming (QP): วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถใช้กับปัญหาที่มีสมการวัตถุประสงค์เป็นสมการตัวแปรยกกำลังสอง และรองรับปัญหาที่มีข้อจำกัดที่เป็นอสมการเชิงเส้นได้

ในปัจจุบันการใช้วิธี Heuristic search (Naresh Acharya, Pukar Mahat, and N. Mithulanathan, 2003), Linear programming (Andrew Keane and Mark O'Malley, 2005) , Power flow algorithm (N.S. Row, Y.-H Wan., 1994; J.O. K, S.W. Nam, S.K. Park, C. Singh., 1998) และการทางปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น กระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA) (A. Silvestri, A. Berizzi, S. Buonanno., 1999; G. Carpinelli, G. Celli, A. Russo , 2001; K.-H. Kim, Y.-J. Lee, S.-B. Rhee, S.-K. Lee, S.-K. You. 2002;) และการหาคำตอบ

แบบการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (Particle Swarm Optimization, PSO) (Wichit Krueasuk and Weerakorn Ongsakul, 2005)

ในวิธีการที่กล่าวถึงทั้งหมดข้างต้น วิธีการ PSO ถือว่าเป็นวิธีที่ถูกเสนอขึ้นหลังสุด (Wichit Krueasuk and Weerakorn Ongsakul, 2005) วิธีการ PSO สามารถประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในปัญหาที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น และได้รับการประยุกต์ใช้งานมากขึ้นในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังเนื่องจากสามารถให้ผลลัพธ์ที่เป็นคำตอบหรือใกล้คำตอบที่ดีที่สุด ในระยะเวลาอันสั้น อย่างไรก็ตามการพัฒนาวิธีการดังกล่าวข้างต้นเป็นการหาคำตอบในลักษณะการหาตำแหน่ง และขนาดกำลังการผลิต ของ DG ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการเสนอการหาคำตอบของ OPDG ซึ่งในการหาคำตอบนี้จะมีผลต่อกำลังงานไฟฟ้าจริงสูญเสียในระบบไฟฟ้าจำหน่ายคือค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูญเสียในระบบจำหน่ายจะต้องมีค่าต่ำที่สุดหลังจากการติดตั้งของ DG และจะต้องอยู่ในข้อจำกัดของค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสและค่ากระแสไฟฟ้าที่สายส่ง

#### 2.4 สรุป

การพัฒนาวิธีการหาคำตอบของปัญหา OPDG ให้มีประสิทธิภาพเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการ และบริหารจัดการระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งนี้ OPDG ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยได้มีการนำเอาวิธีการหาคำตอบในแบบต่าง ๆ และยังสามารถพัฒนาวิธีการได้อีกมาก อย่างไรก็ตามการวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการเน้นการพัฒนากระบวนการคำนวณหาตำแหน่งและขนาดของ DG ที่เหมาะสม และยังมีคามจำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการให้สามารถพิจารณาถึงกำลังสูญเสียจริงในระบบจำหน่าย ให้มีค่าต่ำที่สุดด้วย หากได้รับการพัฒนากันอย่างจริงจังจะเกิดประโยชน์อย่างมากต่อการใช้เป็นแนวทางลดค่าใช้จ่ายด้านการผลิตไฟฟ้า

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 3.1 การวางหลักวิธีในการหาคำตอบ (Problem Formulation)

วิธีการหาคำตอบของปัญหาการหาตำแหน่งและขนาดกำลังการผลิตที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Optimal Placement of DG : OPDG) จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การหาคำตอบที่มุ่งเน้นเพื่อลดกำลังสูญเสียไฟฟ้าจริง (Real Power losses) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) โดยวิธีการคำนวณเชิงปัญญาประดิษฐ์ โดยการพิจารณาข้อจำกัดของระบบที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการทำงาน โดยสามารถแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

หาค่าต่ำสุดของ 
$$P_L = \sum_{k=1}^{N_{SC}} Loss_k \quad (3.1)$$

โดยที่เป็นไปตามข้อจำกัดของสมการสมดุลกำลังงานไฟฟ้า

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

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

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

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

$$Q_{DG_i} = Q_{D_i} - \frac{1}{A_{ii}} \sum_{j=1, j \neq i}^n (A_{ij} Q_j + B_{ij} P_j) \quad (3.6)$$

แบบที่สาม เป็น DG ซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง แต่ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ เช่น เทอร์ไบน์พลังงานลม (Wind turbine) โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$0.0032 A_{ii} P_{DG_i}^3 + P_{DG_i} [1.004 A_{ii} + 0.08 A_{ii} Q_{D_i} - 0.08 Y_i] + (X_i - A_{ii} P_{D_i}) = 0 \quad (3.7)$$

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

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

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

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

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

$P_i$  = 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'.

$\delta_i$  = The angle at bus 'i'.

$Loss_k$  = Distribution loss at section k.

$P_L$  = The real power loss in the system.

$P_{DG_i}$  = The real power generation DG at bus i.

$P_{Di}$  = The power demand at bus i.

### 3.2 กระบวนการคำนวณ (Computational Procedure)

ในการประยุกต์ใช้ PSO ในการหาขนาดและตำแหน่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่มุ่งเน้นเพื่อลดกำลังสูญเสียไฟฟ้าจริง (Real Power losses) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) ให้ค่าต่ำที่สุด สามารถเขียนแสดงเขตของอนุภาคได้เป็นเขตของกำลังการผลิตและตำแหน่งติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เป็น

$$P_{Gi} = \begin{bmatrix} P_{GSi}^1, P_{GSi}^2, \dots, P_{GSi}^M \\ P_{GLi}^1, P_{GLi}^2, \dots, P_{GLi}^M \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

เมื่อ  $P_{Gi}$  เป็นเมตริกซ์แสดงค่ากำลังผลิต และ ตำแหน่งติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ขณะที่  $P_{GSi}^1$  คือขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในการสุ่มมาในครั้งที่ 1 และ  $P_{GLi}^1$  คือตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในการสุ่มมาในครั้งที่ 1 ในแต่ละครั้งของการค้นหา ซึ่งขนาดของเมตริกซ์นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรที่เรามาตั้งไว้ในการเริ่มต้นหาในครั้งแรก

$$\mathbf{pbest} = [pbest_1, pbest_2, \dots, pbest_{NG}]^T \quad (3.10)$$

ครรชนค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคในกลุ่มจะแทนด้วย  $gbest^j$  และค่าอัตราความเร็วของอนุภาค  $j$  จะแสดงเป็น

$$\mathbf{u}^j = [u_1^j, u_2^j, \dots, u_{NG}^j]^T \quad (3.11)$$

ค่าความเร็วและตำแหน่งที่ถูกปรับของแต่ละอนุภาคจะสามารถคำนวณได้จากความเร็วในปัจจุบันและระยะห่างระหว่าง  $pbest_i$  กับ  $gbest_i$  ดังสมการ

$$u_i^{j(t+1)} = w u_i^{j(t)} + c_1 \cdot rand() \cdot (pbest_i - P_{Gi}^{j(t)}) + c_2 \cdot Rand() \cdot (gbest_i - P_{Gi}^{j(t)}), \quad j = 1, 2, \dots, M, i = 1, 2, \dots, NG, \quad (3.12)$$

$$P_{Gi}^{j(t+1)} = P_{Gi}^{j(t)} + u_i^{j(t+1)}, \quad j = 1, 2, \dots, M, i = 1, 2, \dots, NG, \quad (3.13)$$

$$u_i^{\min} \leq u_i^j \leq u_i^{\max}, \quad (3.14)$$

เมื่อ

$M$  คือจำนวนอนุภาคในกลุ่ม

$NG$  คือจำนวนของสมาชิกในอนุภาค

$t$  คือจำนวนครั้งที่ค้นหา

$w$  คือค่าตัวประกอบความเฉื่อย (Inertia weight factor),

$c_1, c_2$  คือค่าความคงที่อัตราเร่ง (Acceleration constants)

$rand(), Rand()$  คือค่าการสุ่มแบบสม่ำเสมอในช่วง  $[0,1]$

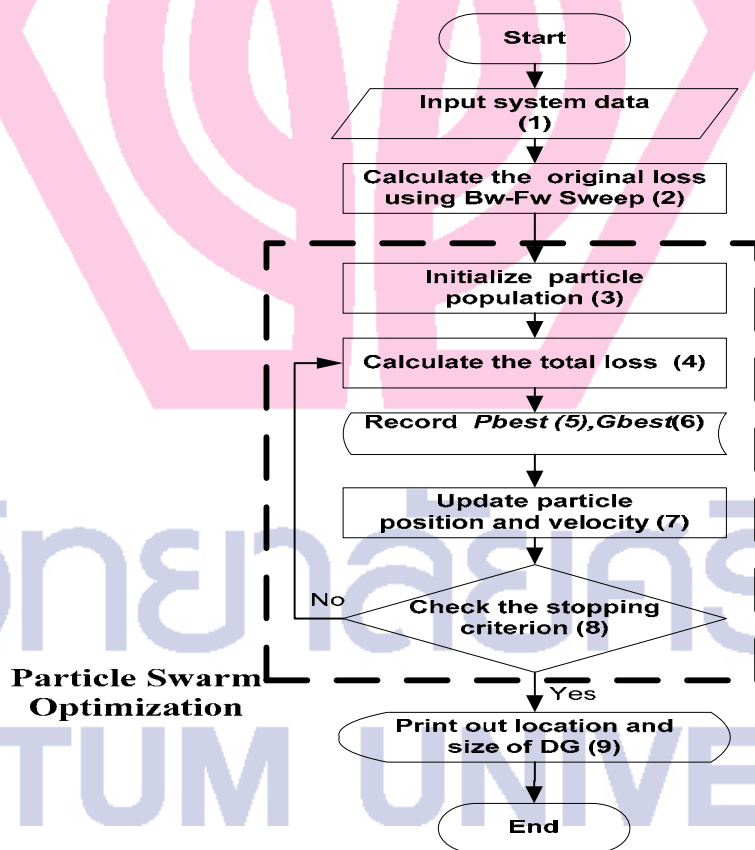
$u_i^{j(t)}$  คือความเร็วใหม่ของอนุภาค  $j$  ที่สอดคล้องกับ  $P_{Gi}$  ในการค้นหาครั้งที่  $t$

$P_{Gi}^{j(t)}$  คือความเร็วเดิมของ  $j$  ที่สอดคล้องกับ  $P_{Gi}$  ในการค้นหาครั้งที่  $t$

ค่า  $u_i^{\max}$  จะเป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสม (Fitness) ว่าบริเวณใดสมควรจะถูกค้นหา ระหว่างตำแหน่งเดิมกับตำแหน่งเป้าหมาย ถ้า  $u_i^{\max}$  มีค่ามากเกินไป อนุภาคอาจเคลื่อนผ่านคำตอบที่ดี และถ้า  $u_i^{\max}$  มีค่าน้อยเกินไปก็อาจทำให้อนุภาคไม่สามารถเคลื่อนผ่านข้ามคำตอบเฉพาะบริเวณได้ (Local solution) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของหลายงานได้พบว่าค่า  $u_i^{\max}$  ที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 10–20% ของช่วงของตัวแปร (G. Zue-Lee, 1993)

สำหรับค่าคงที่  $c_1$  และ  $c_2$  จะเป็นค่าถ่วงน้ำหนักในการเร่งให้อนุภาคเคลื่อนไปทาง  $pbest_i$  และ  $gbest_i$  ค่าที่ต่ำจะทำให้อนุภาคค้นหาในบริเวณที่ไกลจากเป้าหมาย ในทางกลับกัน ค่าที่สูงจะทำให้อนุภาคเคลื่อนผ่านเป้าหมายไป จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าค่า  $c_1$  และ  $c_2$  ที่เหมาะสมจะมีค่าเป็น 2.0 (G. Zwe-Lee, 1993; T. Aruldoss Albert Victoira and A. Ebenezer Jeyakumarb, 2004) ค่าตัวประกอบความเฉื่อย  $w$  ที่เหมาะสมจะช่วยให้การค้นหาที่มีความสมดุลระหว่างการค้นหาคำตอบเฉพาะบริเวณ (Local Exploration) และการค้นหาคำตอบจากขอบเขตทั้งหมด (Global Exploration) ซึ่งจะทำให้ใช้จำนวนครั้งในการค้นหาน้อยลง โดยทั่วไป มักจะถูกกำหนดให้มามีค่าที่ลดลงจาก 0.9 เป็น 0.4 ระหว่างการค้นหาคำตอบ (G. Zwe-Lee, 1993; T. Aruldoss Albert Victoira and A. Ebenezer Jeyakumarb, 2004) โดยทั่วไปค่า  $w$  จะถูกกำหนดด้วยสมการ

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{M} \cdot t \quad (3.15)$$



ภาพประกอบ 3.1 กระบวนการคำนวณ

จากรูปที่ 3.1 เป็นกระบวนการคำนวณในใช้วิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุดใน การค้นหา ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

## ขั้นตอน

- (1) จัดเตรียมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบจำหน่ายมาตรฐานที่จะมาทดสอบ เพื่อนำเข้าสู่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ
- (2) เมื่อได้พารามิเตอร์ต่างๆ จากขั้นตอนที่ (1) แล้วก็มาคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมาตรฐานเพื่อหาค่าแรงดันและกระแสที่บัสต่างๆ
- (3) ขั้นตอนนี้เริ่มเข้าสู่กระบวนการวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด แล้วโดยการเริ่มการสุ่มค่า ขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายซึ่งขนาดเมตริกซ์ในการสุ่มค่าขึ้นอยู่กับจะทดสอบว่าต้องการประชากรในการทดสอบเท่าใด
- (4) นำค่าขนาดและการวางตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ในขั้นตอนที่ (3) เพื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบจำหน่ายมาตรฐาน จากสมการวัตถุประสงค์
- (5) บันทึกครรชนีค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคในกลุ่ม  $pbest^i$
- (6) บันทึกครรชนีค่าที่ดีที่สุดของอนุภาคในกลุ่มจะแทนด้วย  $gbest^j$
- (7) ปรับปรุง ค่าความเร็วและตำแหน่งที่ถูกปรับของแต่ละอนุภาคจะสามารถคำนวณได้จากความเร็วในปัจจุบันและระยะห่างระหว่าง  $pbest_i$  กับ  $gbest_j$
- (8) ตรวจสอบการทำงานของกระบวนการว่าครบกำหนดที่ตั้งไว้หรือยังถ้ายังให้นำค่าจากการปรับปรุงไปสู่กระบวนการที่ (4) แต่ถ้าครบกำหนดไปสู่กระบวนการที่ (9) ต่อไป
- (9) ได้ขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย จากกระบวนการวิธีการเคลื่อนตัวอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด

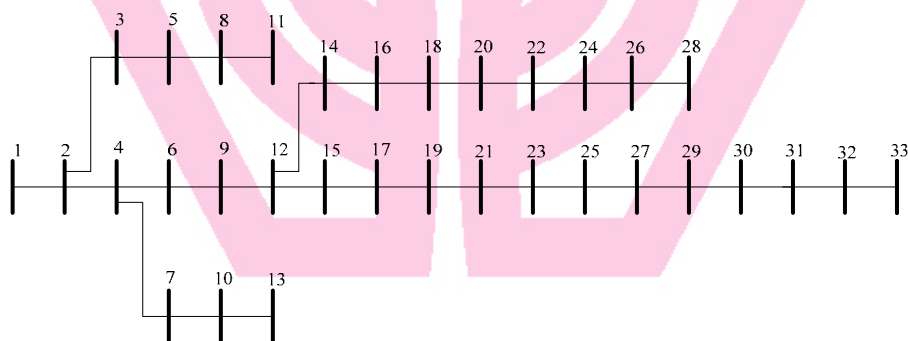


## บทที่ 4

### การทดสอบวิธีการ

การทดสอบ OPDG ด้วยวิธีการที่นำเสนอ กระทำได้โดยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาผลลัพธ์ ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังที่จะนำมาใช้ทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ คือ ระบบจำหน่ายมาตรฐาน 33 บัส และ 69 บัสของ IEEE ทั้งนี้การทดสอบจัดขึ้นภายใต้สถานการณ์จำลองต่าง ๆ และเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์อื่นๆ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 33 บัส ของ IEEE เป็นระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วยบัสจำนวน 33 ชุด และมีส่วนของสายป้อนจำนวน 32 ส่วน ดังแสดงในภาพประกอบ 4.1 ระบบนี้มีโหลดไฟฟ้ารวม คิดเป็นกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ เท่ากับ 3.72 MW และ 2.3 Mvar ตามลำดับ ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในระบบคิดเป็น 221.4346 kW และ 150.1784 kVar ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.1 แผนภาพเส้นเดียว (one-line diagram) ของระบบมาตรฐาน IEEE 33 บัส

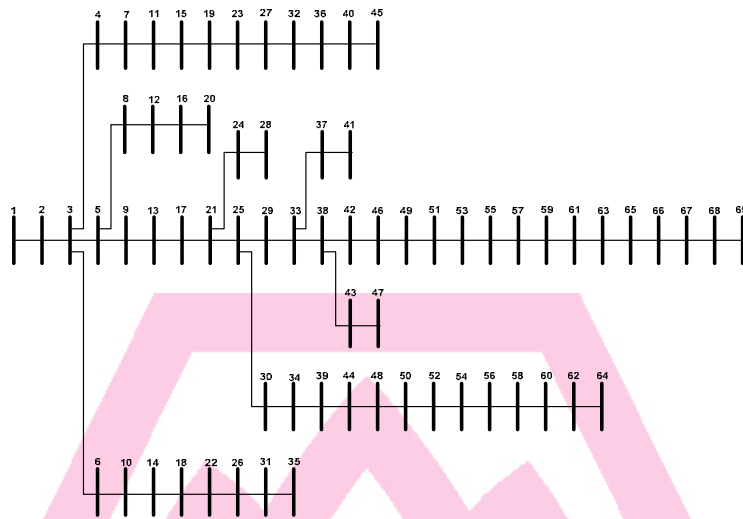
ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้า 69 บัส ของ IEEE เป็นระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วยบัสจำนวน 69 ชุด และมีส่วนของสายป้อนจำนวน 68 ส่วน ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2 ระบบนี้มีโหลดไฟฟ้ารวม คิดเป็นกำลังไฟฟ้าจริง และ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ เท่ากับ 3.80 MW และ 2.69 MVar ตามลำดับ ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียภายในระบบคิดเป็น 230.0372 kW และ 104.3791 kvar ตามลำดับ

ในการทดสอบหาคำตอบด้วย PSO ทั้งสองระบบ ใช้ตัวแปรดังนี้

Population size=200

Maximum generation ( $k_{\max}$ ) = 100

The maximum number of DG = 3



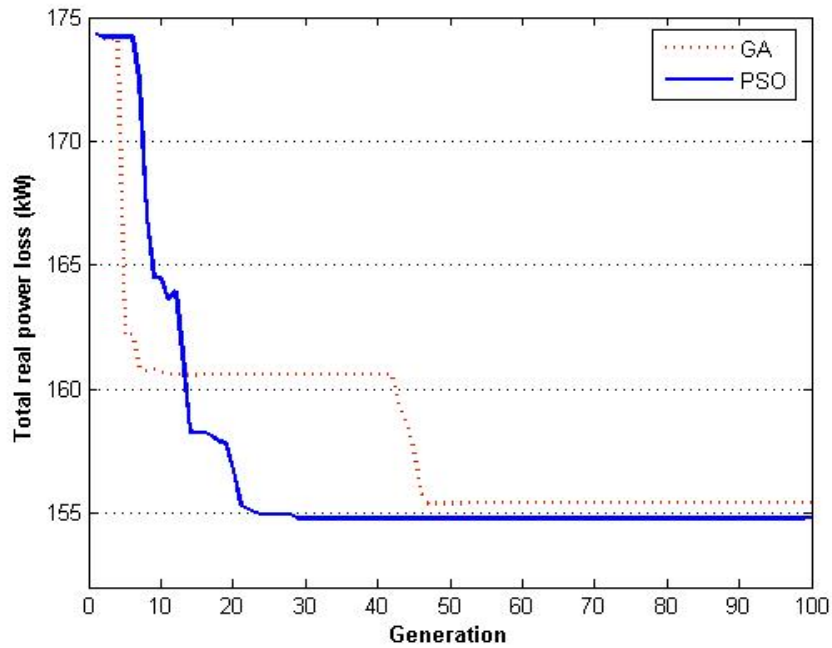
ภาพประกอบ 4.2 แผนภาพเส้นเดียว (one-line diagram) ของระบบมาตรฐาน IEEE 69 บัส

ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการเคลื่อนตัวของอนุภาคที่เหมาะสมที่สุด (PSO) สำหรับระบบทดสอบ 69 บัส ของ IEEE จำนวน 100 ครั้ง พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย 7.1564 วินาที

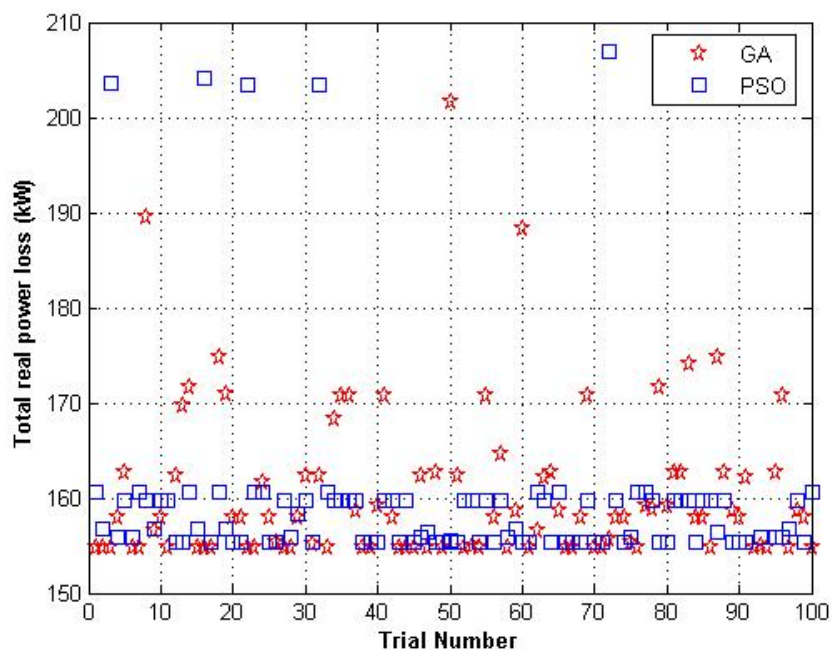
ตารางที่ 4.1 PSO Compute of The 69 bus test system

	Min	Avg.	Max
Total real power loss (kW)	155.4016	163.1430	206.9589
Average Time (sec.)	7.1564		

ในกรณีที่ติดตั้ง DG แบบที่สอง พบว่าการเข้าสู่ของคำตอบที่ดีที่สุดของการคำนวณด้วย PSO กับ GA เปรียบเทียบกันจำนวน 100 ครั้ง มีลักษณะแสดงในภาพประกอบ 4.3 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี PSO มีแนวโน้มให้คำตอบที่ต่ำกว่า วิธี GA และเวลาที่ใช้ก็ยังน้อยกว่าด้วย ในขณะที่ค่าของกำลังการสูญเสียรวมที่คำนวณได้ ด้วยวิธี PSO จำนวน 100 ครั้ง แสดงในภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 4.3 Convergence characteristic of the 69 bus test system.



ภาพประกอบ 4.4 The total loss distribution from 100 trials of a 69 bus test system

ผลการคำนวณด้วยวิธีต่างๆ กับระบบทดสอบของ IEEE แบบ 33 บัส และ 69 บัส สำหรับ DG ทั้ง 4 แบบ แสดงในตารางที่ 4.2 ถึง ตารางที่ 4.5 พบว่า การคำนวณด้วยวิธี GA กรณีติดตั้ง DG จำนวน 1 เครื่อง ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับวิธี Heuristic Search โดยที่ สำหรับระบบทดสอบ IEEE 33 บัส การติดตั้ง DG แบบที่ 1 จำนวน 1 เครื่อง สามารถลดกำลังสูญเสียจริงและกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ได้ถึง 47.52% และ 43.13% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ การติดตั้ง DG แบบที่ 2 หรือแบบที่ 3

หรือแบบที่ 4 ใดๆอย่างหนึ่ง จำนวน 1 เครื่อง ที่สามารถลดกำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟได้เป็น 28.38% และ 27.56% หรือ 26.06% และ 23.11% หรือ 65.69% และ 62.14% ตามลำดับ

เมื่อติดตั้ง DG จำนวน 3 เครื่อง พบว่า กรณีใช้ DG แบบที่ 1 สามารถลดกำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟได้ 62.08% และ 61.16% ตามลำดับ ในขณะที่การติดตั้ง DG แบบที่ 2 หรือ แบบที่ 3 หรือ แบบที่ 4 นั้น พบว่ากำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ลดลง เป็น 30.96% และ 29.63% หรือ 22.04% และ 20.38% หรือ 90.65% และ 89.81% ตามลำดับ

สำหรับระบบทดสอบ IEEE 69 บัส เมื่อติดตั้ง DG แบบที่ 1 จำนวน 3 เครื่อง ทำให้การกำลังการสูญเสียจริงและ การสูญเสียรีแอกทีฟ ลดลงเท่ากับ 67.51% และ 64.52% ตามลำดับ ในขณะที่ เมื่อเปลี่ยนเป็น DG แบบที่ 2 หรือ แบบที่ 3 หรือ แบบที่ 4 กำลังสูญเสียจริงและกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ลดลงเป็น 33.13% และ 31.81% หรือ 24.49% และ 17.38% หรือ 89.53% และ 85.36% ตามลำดับ

ในการทำงานเดียวกัน การคำนวณด้วยวิธี PSO ที่นำเสนอ เพื่อหาตำแหน่งและขนาดของ DG ที่เหมาะสมที่สุด พบว่า กรณีติดตั้ง DG จำนวน 1 เครื่อง ให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับกับวิธี Heuristic Search กล่าวคือ กรณีระบบทดสอบ IEEE 33 บัส การติดตั้ง DG แบบที่ 1 ได้ค่ากำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ลดลง 47.49% และ 43.12% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ การติดตั้ง DG แบบที่ 2 หรือ แบบที่ 3 หรือ แบบที่ 4 ใดๆอย่างหนึ่ง ได้ค่ากำลังสูญเสียจริงและกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ เป็น 28.29% และ 27.55% หรือ 26.01% และ 23.05% หรือ 67.76% และ 61.77% ตามลำดับ

ถ้าติดตั้ง DG แบบที่ 1 จำนวน 3 เครื่อง สามารถลดกำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟได้เท่ากับ 60% และ 64.73% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนเป็น DG แบบที่ 2 หรือ แบบที่ 3 หรือแบบที่ 4 ใดๆอย่างหนึ่งแล้ว ค่ากำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ลดลงเท่ากับ 34.56% และ 24% หรือ 24.66% และ 22.03% หรือ 86.56% และ 85.79% ตามลำดับ

กรณีของระบบทดสอบ IEEE 69 บัส นั้น การติดตั้ง DG แบบที่ 1 จำนวน 3 เครื่อง สามารถลดค่ากำลังสูญเสียจริง และกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ ได้เท่ากับ 69.19% และ 65.81% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการติดตั้ง DG แบบที่ 2 หรือแบบที่ 3 หรือแบบที่ 4 ใดๆอย่างหนึ่ง ซึ่งมีค่ากำลังสูญเสียจริงและกำลังสูญเสียรีแอกทีฟ เท่ากับ 35.53% และ 33.78% หรือ 29.71% และ 29.13% หรือ 96.81% และ 92.15% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 Optimal DG Placement for DG Type 1

System	Method	Bus	DG Size	Bus	DG Size	Bus	DG Size	Ploss (kW)	Qloss (kvar)	Loss Reduction %	
		No.	(MW)	No.	(MW)	No.	(MW)			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	0.8353	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
	PSO	56	1.8074					84.9801	41.4643	63.06	60.28
		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 4.3 Optimal DG Placement for DG Type 2

System	Method	Bus	DG Size	Bus	DG Size	Bus	DG Size	Ploss (kW)	Qloss (kvar)	Loss Reduction %	
		No.	(Mvar)	No.	(Mvar)	No.	(Mvar)			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

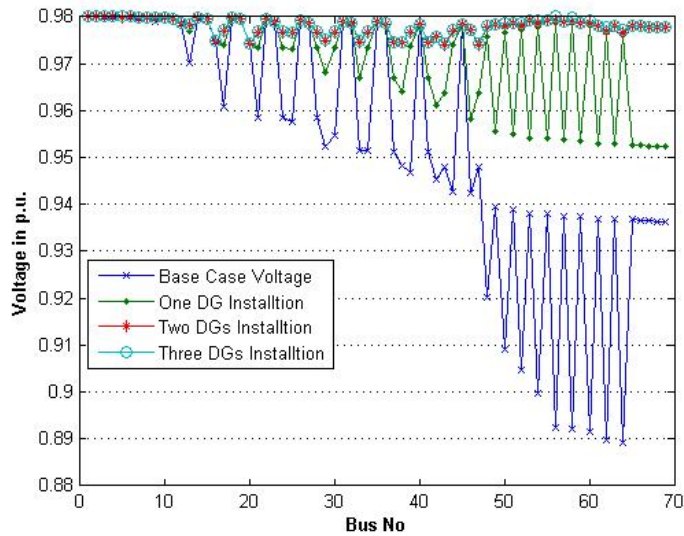
ตารางที่ 4.4 Optimal DG Placement for DG Type 3

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 4.5 Optimal DG Placement for DG Type 4

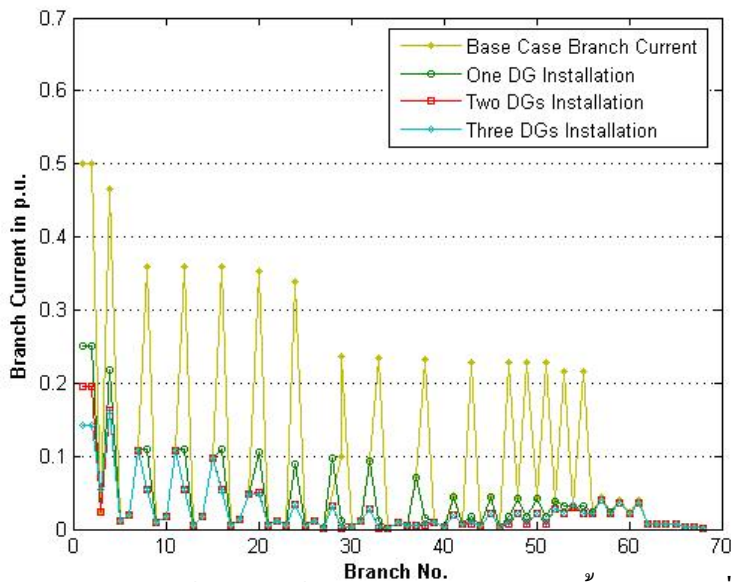
System	Method	Bus No.	DG Size (MW)	Bus No.	DG Size (MW)	Bus No.	DG Size (MW)	Ploss (kW)	Qloss (kvar)	Loss Reduction %	
										Real	Reactive
33 bus	Load flow analysis							221.4346	150.1784		
	Heuristic search	12	2.4939					71.3837	57.4205	67.76	61.77
	GA	22	1.3569					75.9852	56.8591	65.69	62.14
		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 4.5 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 4.5 แรงดันไฟฟ้าที่ตำแหน่งบัส ก่อนและหลังการติดตั้ง DGs แบบที่ 4 จำนวน 3 เครื่อง

ในทำนองเดียวกัน พบว่า กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายป้อนแต่ละส่วน ก็มีค่าลดลงด้วย ทำให้โอกาสที่ตัวนำของสายป้อนแต่ละส่วน จะมีโหลดไฟฟ้าเกินตัว ลดลง ดังแสดงในภาพประกอบ 4.6 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



ภาพประกอบ 4.6 กระแสไฟฟ้าในสายป้อนก่อนและหลังการติดตั้ง DG แบบที่ 4 จำนวน 3 เครื่อง

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบของ 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 มีค่าต่ำที่สุด ภายในเวลาอันสั้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยมีค่าแรงดันตก ลดน้อยลง อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในตัวนำของสายป้อนแต่ละส่วน ยังมีค่าลดลงด้วย ทำให้สายป้อนแต่ละส่วน มีขีดความสามารถรับกระแสไฟฟ้าของโหลดได้เพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตาม อนาคตควรจะได้มีการพิจารณา การเลือกใช้ DG ต่างชนิดกัน ติดตั้งในระบบร่วมกัน ในคราวเดียวกัน และทดสอบกับระบบจำหน่ายแบบอื่นๆ ด้วย





บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

## บรรณานุกรม

- Thomas Ackermann, Göran Andersson and Lennart Söder, "Distributed generation: a definition," **Electric Power Systems Research**. 57: 195-204; 2001.
- W.El-Khattam, M.M.A.Salama, "Distributed generation technologies, definitions and benefits," **Electric Power Systems Research**. 71: 119-128; 2004.
- G.Pepermans, J.Driesen, D.Haeseldonckx, R.Belmans, and W.D'haeseleer, "Distributed generation: definitions, benefits and issues," **Energy Policy**. 33: 787-798; 2005.
- William Rosehart and Ed Nowicki, "Optimal Placement of Distributed Generation," 14<sup>th</sup> PSCC, Sevilla, 24-28 June 2002.
- Caisheng Wang and M. Hashem Nehrir, "Analytical Approaches for Optimal Placement of Distributed Generation Sources in Power Systems," **IEEE Transactions on Power Systems**. 19(4): 2068-2076; 2004.
- Naresh Acharya, Pukar Mahat, and N. Mithulanathan, "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network," **International Journal of Electrical Power & Energy System**. to be published.
- N.S. Row, Y.-H Wan. "Optimum location of resources in distributed planning," **IEEE Trans. PWRS**. 2014-2020;1994.
- J.O. K, S.W. Nam, S.K. Park, C. Singh. "Dispersed generation using improved Hereford ranch algorithm," **Electric Power System Research**. 47-55;1998.
- Andrew Keane and Mark O'Malley, "Optimal Allocation of Embedded Generation on Distribution Networks," **IEEE Transactions on Power System**. 20(3): 1640-1646; August 2005.
- K.-H. Kim, Y.-J. Lee, S.-B. Rhee, S.-K. Lee, S.-K. You. "Dispersed generator placement using fuzzy-GA in distribution systems," **Proc. 2002 IEEE Power Engineering Soc. Summer Meeting, Chicago, IL**, 1148-1153; July, 2002.
- A. Silvestri, A. Berizzi, S. Buonanno. "Distributed generation planning using genetic algorithms," **Proc. Int. Conf. on Electric Power Engineering, Power Tech Budapest 99**. 1999.
- G. Carpinelli, G. Celli, A. Russo. "Distributed generation siting and sizing under uncertainty" **Proc. IEEE Porto Power Tech**.2001.

- Wichit Krueasuk and Weerakron Ongsakul, "Optimal Placement of Distributed Generation Using Particle Swarm Optimization," **Proc.AUPEC 2006** . 2006.
- I.O. Elgerd. **Electric Energy System Theory: an Introduction**. McGraw Hill ,1971.
- M. Ermis, H. B. Eratn, M. Demirekler, B. M. Saribatir, Y. Uctung, M. E. Sezer etal, "Various Induction Generator Scheme for Wind Power Electricity Generation," **Electric Power Systems Research**. 23: 71-83; 1992.
- DTI, "Network Performance Benefits of Energy Storage for a Large WindFarm,"<http://www.dti.gov.uk/renewables/publications/pdfs/ke1002460000.pdf>,2004.
- Emad Elbeltagi, Tarek Hegazy and Donald Grierson, "Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms," **Advanced Engineering Informatics**. 19: 43-53; 2005.
- Goldberg DE.**Genetic algorithms in search, optimization and machine learning**. Addison-Wesley Publishing Co, 1989.
- Al-Tabtabai H, Alex PA, "Using genetic algorithms to solve optimization problems in construction," **Eng Constr Archit Manage**. 121-32;1999.
- Kennedy J and Eberhart R, "Particle Swarm Optimizer," **IEEE International Conference on Neural Networks (Perth, Australia), IEEE Service Center Piscataway, NJ, IV**. 1942-1948;1995.
- Eberhart, R.C. and Shi, Y, "Comparing inertial weights and Constriction factor in particle Swarm optimization," **proceeding of the 2000 International Congress on Evaluationing Computation, San Diego, California, IEEE Service Center, Piscataway, NJ**.84-88;2000.
- M.A. Kashem, V. Ganapathy, G.B. Jasmon and M.I. Buhari, "A Novel Method for Loss Minimization in Distribution Networks," **proceeding of International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies**. 251-255;2000.
- M.E. Baran and F.F. Wu, "Optimal Sizing of Capacitor Placed on Radial Distribution Systems," **IEEE Trans,Vol. PWRD**. 2: 735-743; 1989.
- Zwe-Lee G., "Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints", **IEEE Trans. Power Syst**.18(3): 1187-1195; August 2003.
- Victoirea T. A. A. and Jeyakumarb A. E., "Hybrid PSO-SQP for Economic Dispatch with Valve-Point Effect", **Electric Power System Research**.71:51-59; 2004.
- Victoirea T. A. A. and Jeyakumarb A. E., "Deterministically Guided PSO for Dynamic Dispatch Considering Valve-Point Effect", **Electric Power System Research**.73: 313-322; 2005.



ภาคผนวก ก.

ข้อมูลระบบไฟฟ้า IEEE 33 บัส

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

### Branch Data of the 33 Bus Radial Distribution Test System

From Bus	To Bus	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Rating (MVA)
1	2	0.0058	0.003	0	10
2	4	0.0308	0.0157	0	10
2	3	0.0102	0.0098	0	10
3	5	0.0939	0.0846	0	10
4	6	0.0228	0.0116	0	10
4	7	0.0282	0.0192	0	10
5	8	0.0255	0.0298	0	10
6	9	0.0238	0.0121	0	10
7	10	0.056	0.0442	0	10
8	11	0.0442	0.0585	0	10
9	12	0.0511	0.0441	0	10
10	13	0.0559	0.0437	0	10
12	15	0.0117	0.0386	0	10
12	14	0.0127	0.0065	0	10
14	16	0.0177	0.009	0	10
15	17	0.1068	0.0771	0	10
16	18	0.0661	0.0583	0	10
17	19	0.0643	0.0462	0	10
18	20	0.0502	0.0437	0	10
19	21	0.0649	0.0462	0	10
20	22	0.0317	0.0161	0	10
21	23	0.0123	0.0041	0	10
22	24	0.0608	0.0601	0	10
23	25	0.0234	0.0077	0	10
24	26	0.0194	0.0226	0	10
25	27	0.0916	0.0721	0	10
26	28	0.0213	0.0331	0	10
27	29	0.0338	0.0445	0	10
29	30	0.0369	0.0328	0	10
30	31	0.0466	0.034	0	10
31	32	0.0804	0.1074	0	10
32	33	0.0457	0.0358	0	10

### Bus Data of the 33 Bus Radial Distribution Test System

Bus No	Type	Pload	Qload	Gs p.u.	Bs p.u.	Area	Vm	Va	Base KV	Area
1	3	0	0	0	0	1	1	0	12.66	1
2	1	0.1	0.06	0	0	1	1	0	12.66	1
3	1	0.09	0.04	0	0	1	1	0	12.66	1
4	1	0.09	0.04	0	0	1	1	0	12.66	1
5	1	0.09	0.04	0	0	1	1	0	12.66	1
6	1	0.12	0.08	0	0	1	1	0	12.66	1
7	1	0.09	0.05	0	0	1	1	0	12.66	1
8	1	0.09	0.04	0	0	1	1	0	12.66	1
9	1	0.06	0.03	0	0	1	1	0	12.66	1
10	1	0.42	0.2	0	0	1	1	0	12.66	1
11	1	0.09	0.04	0	0	1	1	0	12.66	1
12	1	0.06	0.02	0	0	1	1	0	12.66	1
13	1	0.42	0.2	0	0	1	1	0	12.66	1
14	1	0.06	0.025	0	0	1	1	0	12.66	1
15	1	0.2	0.1	0	0	1	1	0	12.66	1
16	1	0.06	0.025	0	0	1	1	0	12.66	1
17	1	0.2	0.1	0	0	1	1	0	12.66	1
18	1	0.06	0.02	0	0	1	1	0	12.66	1
19	1	0.06	0.02	0	0	1	1	0	12.66	1
20	1	0.12	0.07	0	0	1	1	0	12.66	1
21	1	0.06	0.02	0	0	1	1	0	12.66	1
22	1	0.2	0.6	0	0	1	1	0	12.66	1
23	1	0.045	0.03	0	0	1	1	0	12.66	1
24	1	0.15	0.07	0	0	1	1	0	12.66	1
25	1	0.06	0.035	0	0	1	1	0	12.66	1
26	1	0.21	0.1	0	0	1	1	0	12.66	1
27	1	0.06	0.035	0	0	1	1	0	12.66	1
28	1	0.06	0.04	0	0	1	1	0	12.66	1
29	1	0.12	0.08	0	0	1	1	0	12.66	1
30	1	0.06	0.01	0	0	1	1	0	12.66	1
31	1	0.06	0.02	0	0	1	1	0	12.66	1
32	1	0.06	0.02	0	0	1	1	0	12.66	1
33	1	0.09	0.04	0	0	1	1	0	12.66	1



**ภาคผนวก ข.**

ข้อมูลระบบไฟฟ้า IEEE 69 บัส

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

### Branch Data of the 69 Bus Radial Distribution Test System

From Bus	To Bus	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Rating (MVA)
1	2	0	0.0001	0	10
2	3	0	0.0001	0	10
3	5	0.0001	0.0002	0	10
3	6	0.0003	0.0007	0	10
3	4	0.0003	0.0007	0	10
4	7	0.0039	0.0096	0	10
5	9	0.0015	0.0018	0	10
5	8	0.0002	0.0005	0	10
6	10	0.0039	0.0096	0	10
7	11	0.0064	0.0075	0	10
8	12	0.0052	0.0127	0	10
9	13	0.0223	0.0114	0	10
10	14	0.0243	0.008	0	10
11	15	0.0019	0.0022	0	10
12	16	0.0177	0.0433	0	10
13	17	0.0233	0.0118	0	10
14	18	0.0043	0.0014	0	10
15	19	0.0001	0.0001	0	10
16	20	0.005	0.0123	0	10
17	21	0.0056	0.0029	0	10
18	22	0.0214	0.0071	0	10
19	23	0.0445	0.0519	0	10
21	25	0.003	0.0015	0	10
21	24	0.0057	0.0029	0	10
22	26	0.0512	0.0172	0	10
23	27	0.0189	0.0221	0	10
24	28	0.0203	0.0068	0	10
25	29	0.05	0.0165	0	10
25	30	0.0106	0.0054	0	10
26	31	0.1042	0.0345	0	10
27	32	0.0025	0.0029	0	10
29	33	0.0114	0.0038	0	10
30	34	0.0124	0.0063	0	10
31	35	0.09	0.0297	0	10
32	36	0.0006	0.0007	0	10
33	38	0.0434	0.0143	0	10
33	37	0.0123	0.0037	0	10
34	39	0.0173	0.0088	0	10
36	40	0.0066	0.0084	0	10
37	41	0.0003	0.0001	0	10
38	42	0.0629	0.0208	0	10
38	43	0.0451	0.0149	0	10
39	44	0.0172	0.0087	0	10
40	45	0.0001	0.0001	0	10



From Bus	To Bus	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Rating (MVA)
42	46	0.0637	0.0211	0	10
43	47	0.0003	0.0001	0	10
44	48	0.097	0.0326	0	10
46	49	0.0646	0.0213	0	10
48	50	0.0481	0.0161	0	10
49	51	0.012	0.004	0	10
50	52	0.0186	0.0061	0	10
51	53	0.0229	0.0076	0	10
52	54	0.0236	0.0072	0	10
53	55	0.0003	0.0001	0	10
54	56	0.031	0.0158	0	10
55	57	0.02	0.0066	0	10
56	58	0.0059	0.003	0	10
57	59	0.0129	0.0042	0	10
58	60	0.0089	0.0045	0	10
59	61	0.0208	0.0069	0	10
60	62	0.0434	0.0221	0	10
61	63	0.0009	0.0003	0	10
62	64	0.0635	0.0324	0	10
63	65	0.0097	0.0032	0	10
65	66	0.0211	0.007	0	10
66	67	0.0457	0.0151	0	10
67	68	0.0189	0.0062	0	10
68	69	0.0106	0.0035	0	10

**Bus Data of the 69 Bus Radial Distribution Test System**

Bus No	Type	Pload	Qload	Gs p.u.	Bs p.u.	Area	Vm	Va	Base KV
1	3	0	0	0	0	1	1	0	12.8
2	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
3	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
4	1	0.026	0.0186	0	0	1	1	0	12.8
5	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
6	1	0.026	0.0186	0	0	1	1	0	12.8
7	1	0.026	0.0186	0	0	1	1	0	12.8
8	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
9	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
10	1	0.026	0.0186	0	0	1	1	0	12.8
11	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
12	1	0.079	0.0564	0	0	1	1	0	12.8
13	1	0.0026	0.0022	0	0	1	1	0	12.8
14	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
15	1	0.024	0.017	0	0	1	1	0	12.8
16	1	0.3847	0.2745	0	0	1	1	0	12.8
17	1	0.0404	0.03	0	0	1	1	0	12.8

Bus No	Type	Pload	Qload	Gs p.u.	Bs p.u.	Area	Vm	Va	Base KV
18	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
19	1	0.024	0.017	0	0	1	1	0	12.8
20	1	0.3847	0.2745	0	0	1	1	0	12.8
21	1	0.075	0.054	0	0	1	1	0	12.8
22	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
23	1	0.0012	0.001	0	0	1	1	0	12.8
24	1	0.0405	0.0283	0	0	1	1	0	12.8
25	1	0.03	0.022	0	0	1	1	0	12.8
26	1	0.014	0.01	0	0	1	1	0	12.8
27	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
28	1	0.0036	0.0027	0	0	1	1	0	12.8
29	1	0.028	0.019	0	0	1	1	0	12.8
30	1	0.0043	0.0035	0	0	1	1	0	12.8
31	1	0.0195	0.014	0	0	1	1	0	12.8
32	1	0.006	0.0043	0	0	1	1	0	12.8
33	1	0.145	0.104	0	0	1	1	0	12.8
34	1	0.0264	0.019	0	0	1	1	0	12.8
35	1	0.006	0.004	0	0	1	1	0	12.8
36	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
37	1	0.018	0.013	0	0	1	1	0	12.8
38	1	0.145	0.104	0	0	1	1	0	12.8
39	1	0.024	0.0172	0	0	1	1	0	12.8
40	1	0.0392	0.0263	0	0	1	1	0	12.8
41	1	0.018	0.013	0	0	1	1	0	12.8
42	1	0.008	0.005	0	0	1	1	0	12.8
43	1	0.028	0.02	0	0	1	1	0	12.8
44	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
45	1	0.0392	0.0263	0	0	1	1	0	12.8
46	1	0.008	0.0055	0	0	1	1	0	12.8
47	1	0.028	0.02	0	0	1	1	0	12.8
48	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
49	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
50	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
51	1	0.0455	0.03	0	0	1	1	0	12.8
52	1	0.1	0.072	0	0	1	1	0	12.8
53	1	0.06	0.035	0	0	1	1	0	12.8
54	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
55	1	0.06	0.035	0	0	1	1	0	12.8
56	1	1.244	0.888	0	0	1	1	0	12.8
57	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
58	1	0.032	0.023	0	0	1	1	0	12.8
59	1	0.001	0	0	0	1	1	0	12.8
60	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
61	1	0.114	0.081	0	0	1	1	0	12.8
62	1	0.227	0.162	0	0	1	1	0	12.8
63	1	0.005	0.0035	0	0	1	1	0	12.8

Bus No	Type	Pload	Qload	Gs p.u.	Bs p.u.	Area	Vm	Va	Base KV
64	1	0.059	0.042	0	0	1	1	0	12.8
65	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
66	1	0.028	0.02	0	0	1	1	0	12.8
67	1	0	0	0	0	1	1	0	12.8
68	1	0.014	0.01	0	0	1	1	0	12.8
69	1	0.014	0.01	0	0	1	1	0	12.8



มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ

นายวิจิต เครือสุข

วัน เดือน ปีเกิด

วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2519

สถานที่เกิด

อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

บ้านเลขที่ 502/289 หมู่ที่ 3 ต.คูคต

อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12130

ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542 วศ.บ. จาก มหาวิทยาลัยศรีปทุม

พ.ศ. 2549 M.Eng จาก Asian Institute of Technology

มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
SRIPATUM UNIVERSITY