

Chulalongkorn University

Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2022

การศึกษาเปรียบเทียบและพัฒนาวิธีการการจัดกลุ่มโหนดสำหรับการจ่ายไฟฟ้าแบบไมโครกริด

จารย์จณ์ วัฒนรักษ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

Follow this and additional works at: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>



Part of the [Electrical and Electronics Commons](#)

Recommended Citation

วัฒนรักษ์, จารย์จณ์, "การศึกษาเปรียบเทียบและพัฒนาวิธีการการจัดกลุ่มโหนดสำหรับการจ่ายไฟฟ้าแบบไมโครกริด" (2022).
Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). 6559.
<https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/6559>

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

การศึกษาเปรียบเทียบและพัฒนาวิธีการการจัดกลุ่มโหลดสำหรับการจ่ายไฟฟ้าแบบไมโครกริด



นายจรรพจน์ ถนอมรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparative study and development of load clustering methods for microgrid
operation



Mr. Jarupoj Tanomrak

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบและพัฒนาวิธีการการจัดกลุ่มโหนด สำหรับการจ่ายไฟฟ้าแบบไมโครกริด
โดย	นายจารุพนธ์ ฅนอมรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร.ธีรพล ศีลาวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เชาวนิตศ อัครกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร.ธีรพล ศีลาวรรณ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุ่นเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ)

จารุพนธ์ ถนอมรักษ์ : การศึกษาเปรียบเทียบและพัฒนาวิธีการการจัดกลุ่มโหลดสำหรับการจ่ายไฟฟ้าแบบไมโครกริด. (Comparative study and development of load clustering methods for microgrid operation) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.ธีรพล ศิลาวรรณ

การประยุกต์ใช้ไมโครกริดเป็นการใช้เทคโนโลยีในการพัฒนาระบบจำหน่ายไฟฟ้า มุ่งเน้นการพึ่งพาพลังงานภายในไมโครกริดตนเองเป็นสำคัญ และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพและสร้างความน่าเชื่อถือให้กับระบบไฟฟ้าซึ่งสามารถประเมินค่าทางเศรษฐกิจได้ การแยกโดระบบไฟฟ้าไมโครกริดเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถป้องกันระบบไฟฟ้าได้อย่างทันท่วงที ซึ่งมีเหตุเนื่องมาจากความผิดปกติจากกริดไฟฟ้าหลักซึ่งสาเหตุให้เกิดไฟฟ้าดับในหลายส่วนของระบบไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการจัดกลุ่มโหลดให้เป็นไมโครกริดเพื่อเป็นระบบไฟฟ้าแบบแยกโด โดยการดัดแปลงและประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธี การจัดกลุ่มเชิงพื้นที่ตามความหนาแน่นของแอปพลิเคชันที่มีสัญญาณรบกวนบนสายป้อนไฟฟ้า ให้เป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการกลายพันธุ์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการบริหารโครงข่ายไฟฟ้า ผลลัพธ์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงให้เห็นประโยชน์ของขั้นตอนวิธีที่เสนอต่อการจัดกลุ่มไมโครกริด เพื่อให้ได้ตัวประกอบภาระเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มไมโครกริดบนสายป้อนไฟฟ้าสูงสุด



สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6370453621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Microgrid, microgrid cluster, genetic algorithm, DBSCAN, electrical optimization, Net zero energy

Jarupoj Tanomrak : Comparative study and development of load clustering methods for microgrid operation. Advisor: Assoc. Prof. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D. Co-advisor: TEERAPOL SILAWAN, Ph.D.

Microgrids are a power distribution system technology that allows for self-sufficient energy generation and distribution within a localized area. They can help increase efficiency and reliability that can be economically assessed, and improve power distribution systems within the community. One strategy for preventing power outages is to isolate the microgrid power system, which faults can cause in the main power grid leading to outages in various parts of the main power grid. This research presents a load clustering algorithm as a microgrid for microgrid islanding by utilizing the adapt DBSCAN technique as part of the mutation process of the genetic algorithm applied to the load on a feeder. The results of this study demonstrate the temporal benefits of the proposed algorithm for microgrid clustering in terms of the average load factor among each group in a microgrid on feeder cable.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Electrical Engineering

Academic Year: 2022

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร และ อ.ดร.ธีรพล ศิลาวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการทำวิทยานิพนธ์รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและ แก้ไข เนื้อหาวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์จนสำเร็จเรียบร้อย ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบไปด้วย รศ.ดร.เชาวนดิศ อัครกุล รศ.ดร.แนบบุญ หุ่นเจริญ และ ดร.ภูมิพัฒน์ แสง อุดมเลิศ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ แก้ไข และให้คำแนะนำในการทำ วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอด มา รวมทั้ง รุ่นพี่ และ เพื่อนทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ข้อมูลต่างๆ ซึ่งเป็นเบื้องหลังความสำเร็จ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จารุพจน์ ฅนอมรักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	15
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	15
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	15
1.5 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน.....	16
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	18
2.1 รูปแบบโครงสร้างในระบบสายส่ง [6].....	18
2.1.1 ระบบแบบเรเดียล (Radial distribution system).....	18
2.1.2 ระบบแบบวงรอบ (Loop distribution system).....	19
2.2 ขั้นตอนวิธีการคำนวณค่าตัวประกอบภาระ (Load factor).....	21
2.3 ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบต่างๆ.....	22

2.3.1. ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มตามความหนาแน่นแบบ Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN).....	22
2.3.2 ขั้นตอนการจัดกลุ่มตามลำดับขั้นแบบรวบยอด (Hierarchical agglomerative clustering) [7]	24
2.4 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (simple genetic algorithm).....	25
2.5 การค้นหาคำตอบแบบตามแนวลึก (Depth-first search).....	27
บทที่ 3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	28
3.1 ปัญหาของระบบไฟฟ้า	28
3.1.1 ปัญหาด้านอุปกรณ์ทางไฟฟ้า.....	28
3.1.2 ปัญหาด้านภัยธรรมชาติ.....	28
3.1.3 ปัญหาการโจมตีทางไซเบอร์	29
3.2 เกณฑ์การประเมินความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า	30
3.2.1 การประเมินค่าความน่าเชื่อถือของระบบการกำเนิดไฟฟ้า	30
หนังสือระบบกำเนิดแบบกระจาย [11] กล่าวถึง ดัชนีความเพียงพอของระบบกำเนิดไฟฟ้า 4	
ดัชนีดังต่อไปนี้.....	30
3.2.2 การประเมินค่าความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าไมโครกริด	31
3.2.3 การประเมินค่าความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าไมโครกริดในขณะดำเนินการ	31
3.3 การแยกโดดไมโครกริด	32
3.4 แนวทางการจัดกลุ่มไมโครกริด	32
บทที่ 4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	35
4.1 แบบจำลองสายป้อนไฟฟ้า	35
4.1.1 ข้อมูลเชิงปริมาณและโครงสร้างสายป้อน IEEE [19].....	36
4.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโหลดบนสายป้อน IEEE	36
4.1.3 ข้อมูลดิบและโครงสร้างสายป้อนจาก กฟภ.	36
4.1.4 ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าบนสายป้อน กฟภ.	42

4.2	เกณฑ์หรือฟังก์ชันความเหมาะสมการจัดกลุ่มไมโครกริด.....	42
4.3	วิธีการสร้างโครงข่ายทดสอบจากชุดข้อมูล.....	43
4.4	ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยวิธีการทางพันธุกรรมอย่างง่าย.....	45
4.5	ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยวิธีการทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบ ดัดแปลง.....	45
4.6	ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องภายในคลังโปรแกรม Scikit- learn.....	53
4.6.1	การจัดกลุ่มตามความหนาแน่นแบบ DBSCAN แบบดัดแปลง.....	53
4.6.2	การจัดกลุ่มตามลำดับขั้นแบบรวบยอด.....	54
บทที่ 5	ผลการทดสอบ แนวทางการใช้งานขั้นตอนวิธี และ การวิเคราะห์ผลลัพธ์	56
5.1	โครงสร้างสายป้อนไฟฟ้าอื่นๆที่นำมาทดสอบ.....	57
5.2	การทดสอบและวิเคราะห์ผลลัพธ์.....	63
5.2.1	การวิเคราะห์เชิงค่าความเหมาะสม.....	63
5.2.2	การวิเคราะห์เชิงเวลา	65
5.2.3	การวิเคราะห์ตัวแปรความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์	66
5.3	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี.....	69
5.3.1	การทดสอบคุณภาพการจัดกลุ่ม	70
5.3.2	การทดสอบคุณภาพเชิงเวลา	74
5.3.3	ความสามารถในการประยุกต์ใช้.....	79
5.3.3.1	ความสามารถในการประยุกต์หรือปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของขั้นตอนวิธีตาม ข้อกำหนดอื่นๆ	79
5.3.3.2	การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีในเหตุการณ์จริง.....	79
บทที่ 6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	80
6.1	บทสรุปของวิทยานิพนธ์.....	80
6.2	ข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์.....	81

บรรณานุกรม.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	85



สารบัญตาราง

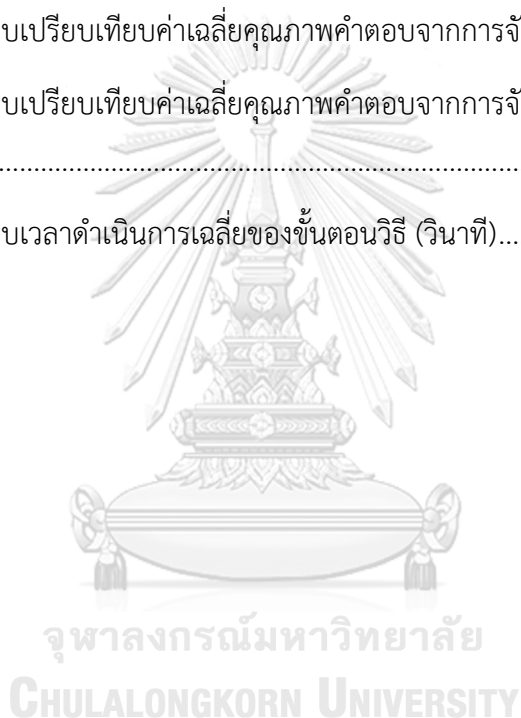
	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติซึ่งเกิดไฟฟ้าดับขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา [5]	29
ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบข้อจำกัดของขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม	33
ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของสายป้อนสำหรับทดสอบ	44
ตารางที่ 4 สัญลักษณ์ คำนิยาม และตัวอย่างการกำหนดค่าของตัวแปรที่ใช้ในขั้นตอนวิธี	47
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความน่าจะเป็นของคุณภาพคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีเป็นค่าที่ดีที่สุด	71
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธี	72
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธี เปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุด	73
ตารางที่ 8 ผลการทดสอบเวลาดำเนินการเฉลี่ยของขั้นตอนวิธี (วินาที).....	75
ตารางที่ 9 ผลลัพธ์จำนวนกลุ่มจากการจัดกลุ่มที่ดีที่สุดบนสายป้อนตามค่าเฉลี่ยตัวประกอบภาระ ..	76
ตารางที่ 10 ความซับซ้อนทางเวลาของขั้นตอนวิธี	78

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างสายป้อนแบบระบบเบรเดียล	18
รูปที่ 2 ตัวอย่างโครงสร้างสายป้อนแบบวงรอบ	19
รูปที่ 3 ตัวอย่างโครงสร้างสายป้อนแบบระบบเครือข่าย	20
รูปที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณค่าตัวประกอบภาระ	21
รูปที่ 5 องค์ประกอบของขั้นตอนวิธี DBSCAN.....	23
รูปที่ 6 ตัวอย่างก่อนและหลังการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี DBSCAN	23
รูปที่ 7 ตัวอย่างจุดที่ต้องการจัดกลุ่ม	24
รูปที่ 8 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างต้นไม้เพื่อจัดกลุ่ม	25
รูปที่ 9 ผังงานการทำงานขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย.....	26
รูปที่ 10 ตัวอย่างการดำเนินการค้นหาคำตอบตามรากต้นไม้แบบการค้นหาเชิงลึก.....	27
รูปที่ 11 แผนผังการทำงานของการจัดกลุ่มด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง DBSCAN แบบปรับปรุง.....	34
รูปที่ 12 โครงสร้างตำแหน่งโหนดบนสายป้อน IEEE-14 bus.....	35
รูปที่ 13 ตัวอย่างข้อมูลการเชื่อมต่อจากโหนดหนึ่งไปอีกโหนดหนึ่ง	36
รูปที่ 14 ตัวอย่างข้อมูลโพรไฟล์ภาระจาก กฟผ.....	37
รูปที่ 15 ตัวอย่างกราฟสายป้อนการเชื่อมต่อกันของโหนดบนสายป้อนของ กฟผ. (สร้างจากข้อมูลในรูปที่ 13).....	37
รูปที่ 16 ตัวอย่างกราฟการเชื่อมต่อกันของโหนดบนสายป้อนของ กฟผ. หลังจากการทำความสะอาดข้อมูล (data cleansing).....	38
รูปที่ 17 ผังการทำความสะอาดข้อมูล	40
รูปที่ 18 ตัวอย่างการทำความสะอาดข้อมูลกราฟ.....	41
รูปที่ 19 ค่าเฉลี่ยความต้องการโหลดไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 34 ลูกเป็นเวลา 12 เดือนบนสายส่งไฟฟ้าแบบกระจาย	42

รูปที่ 20 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน IEEE 14-bus	45
รูปที่ 21 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างโหลดและตัวตัดวงจร และ ตัวอย่างโครโมโซมที่แสดงแทนการเชื่อมต่อระหว่างตัวตัดวงจรและโหลด.....	48
รูปที่ 22 ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์ระหว่างโครโมโซมพ่อ และ แม่	50
รูปที่ 23 ตัวอย่างการกลายพันธุ์ของโครโมโซมตัวอย่าง	51
รูปที่ 24 ผังการดำเนินการจัดกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์	52
รูปที่ 25 ตัวอย่างองค์ประกอบของขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง	54
รูปที่ 26 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 0	57
รูปที่ 27 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 1	58
รูปที่ 28 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 2	58
รูปที่ 29 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 3	59
รูปที่ 30 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 4	59
รูปที่ 31 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 5	60
รูปที่ 32 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 6	60
รูปที่ 33 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 7	61
รูปที่ 34 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 8	61
รูปที่ 35 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อนแบบวงรอบ A	62
รูปที่ 36 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อนแบบเครือข่าย B.....	62
รูปที่ 37 ค่าความเหมาะสมเทียบจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอด และจำนวนโครโมโซมประชากร	64
รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโครโมโซมประชากร และความน่าจะเป็นของผลลัพธ์แสดงค่าความเหมาะสมที่สุด.....	64
รูปที่ 39 สัดส่วนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอดเทียบจำนวนโครโมโซม และ ความน่าจะเป็นของผลลัพธ์แสดงค่าความเหมาะสมที่สุด	65

รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเวลาที่ขั้นตอนวิธีใช้ จำนวนโครโมโซมประชากรรวม และ สัดส่วนจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากร	66
รูปที่ 41 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่ได้ค่าความเหมาะสมในการจัดกลุ่มดีที่สุด เทียบกับ ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์.....	67
รูปที่ 42 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดำเนินการเฉลี่ย (วินาที) เทียบกับ ค่าความน่าจะเป็น ของการกลายพันธุ์	67
รูปที่ 43 ผลการทดสอบความน่าจะเป็นของคุณภาพคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีเป็นค่าดีที่สุด	70
รูปที่ 44 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธี ..	74
รูปที่ 45 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธี เทียบค่าดีที่สุด	74
รูปที่ 46 ผลการทดสอบเวลาดำเนินการเฉลี่ยของขั้นตอนวิธี (วินาที).....	76



บทที่ 1

บทนำ

บทนำจะนำเสนอที่มาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ สมมติฐานของงานวิจัย ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ไมโครกริดคือโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กภายใต้แรงดันระดับต่ำ หรือระดับกลางประกอบด้วยระบบผลิตไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ระบบควบคุมอัตโนมัติ และโหลดไฟฟ้า ระบบเหล่านี้สามารถทำงานประสานกันเสมือนเป็นระบบเดียวทำให้ไมโครกริดเป็นระบบที่สามารถพึ่งพาตนเอง และสามารถเชื่อมกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักหรือโครงข่ายไฟฟ้าอื่นๆได้ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ไมโครกริดร่วมกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักกับการใช้โครงข่ายไฟฟ้าหลักเพียงอย่างเดียว การใช้ไมโครกริดร่วมกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักจะช่วยเพิ่มเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ไฟฟ้าดับหรือช่วงเวลาฉุกเฉิน โดยไมโครกริดสามารถแยกโดดออกจากโครงข่ายไฟฟ้าหลักเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้ไฟฟ้าได้ปกติ โดยอาศัยการใช้ไฟฟ้าภายในไมโครกริด นอกจากนี้การใช้ไมโครกริดร่วมกับโครงข่ายไฟฟ้าหลักสามารถช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในสายส่งและสายจำหน่ายได้ เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าในไมโครกริดมีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เดียวกันกับโหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้มีการใช้ระบบส่งและระบบจำหน่ายในโครงข่ายไฟฟ้าหลักลดลง สำหรับนาโนกริดเป็นโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเช่นเดียวกับไมโครกริด แต่มีขนาดเล็กกว่าและมีระดับกำลังอยู่ที่ 10-100 กิโลวัตต์ นอกจากนี้ นาโนกริดยังสามารถเป็นจุดเริ่มต้นของสมาร์ตกริดในอนาคต [1] [2] [3]

วิธีการจัดกลุ่มข้อมูลสามารถจัดกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องได้หลายวิธี ซึ่งจะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป สำหรับขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่องที่จะนำมาประยุกต์และดัดแปลงเพื่อใช้ในงานวิจัยนี้คือ Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) [4] ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้โดยไม่ต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม โดยประยุกต์ร่วมกับ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) [5] เพื่อเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการค้นหาการจัดกลุ่มที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์แนวทางการจัดกลุ่มโหลดบนสายป้อนให้เป็นกลุ่มของนาโนกริดหรือไมโครกริดโดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เสนอวิธีการจัดกลุ่มด้วยการประยุกต์การเรียนรู้ของเครื่อง DBSCAN ให้กับโหลดบนสายป้อน
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ กับ วิธีการอื่นๆของการเรียนรู้ของเครื่องที่ถูกบรรจุในคลังโปรแกรม Scikit-Learn ในหมวดการจัดกลุ่ม

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1. ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเป็นค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดสุทธิ
2. ข้อมูลการเชื่อมต่อโหลดที่นำมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์เป็นข้อมูลโหลดที่อยู่บนสายป้อนและมีการกำหนดโครงสร้างการเชื่อมต่อโหลดไว้แล้ว
3. ข้อมูลโพรไฟล์ภาระที่นำมาใช้เป็นข้อมูลที่คิดเป็นช่วงเวลารายชั่วโมงจำนวน 12 เดือน
4. โหลดทุกโหลดต้องถูกจัดเป็นกลุ่มไมโครกริด หรือมีการรวมกลุ่มตั้งแต่ 2 โหลดขึ้นไป
5. กำหนดให้ค่าระยะห่างระหว่างโหนดบนโครงสร้างสายป้อนมีค่าเท่ากับจำนวนของฮอปจากจุดอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. การเลือกเส้นทางการเชื่อมต่อสายไฟระหว่างโหลดไม่คำนึงถึงสภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ของโหลด
2. กลุ่มโหลดที่นำมาจัดกลุ่มไมโครกริด เป็นกลุ่มโหลดซึ่งอยู่บนสายป้อน
3. สายป้อนที่นำมาศึกษาเป็นสายป้อนในประเทศไทยที่มีลักษณะโครงข่ายแบบเรเดียล
4. กลุ่มโหลดที่นำมาพิจารณาเป็นกลุ่มโหลดที่อยู่ในแรงดันในระดับเดียวกัน

1.5 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดในปัจจุบัน
3. พัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยการประยุกต์ใช้และดัดแปลงขั้นตอนวิธี DBSCAN
4. ทดสอบเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่องวิธีอื่นๆ กับการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยการประยุกต์ใช้และดัดแปลงขั้นตอนวิธี DBSCAN
5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษการจัดกลุ่มโหนดเพื่อรวมเป็นนาโนกริดหรือไมโครกริดมีประโยชน์ดังนี้

1. เป็นแนวทางการจัดกลุ่มโหนดสำหรับไมโครกริดด้วยขั้นตอนวิธี DBSCAN
2. เพื่อให้สามารถเลือกใช้วิธีการจัดกลุ่ม โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเลือกวิธีการ

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท โดยมีเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ โดยกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนวิธีการศึกษาและดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน โดยกล่าวถึงทฤษฎี ขั้นตอนวิธีการต่างๆ วิธีการคำนวณ ที่สามารถนำมาประยุกต์ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม

บทที่ 3 บรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง โดยกล่าวถึงการศึกษารายงาน และผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่ม ขั้นตอนวิธี วิธีการคำนวณ เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาในการจัดกลุ่ม และแนวทางในการพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม

บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงการพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริต รายละเอียดของขั้นตอนวิธี วิธีการคำนวณ เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาการจัดกลุ่ม

บทที่ 5 รายงานผลการทดสอบ แนวทางการใช้ขั้นตอนวิธี และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี โดยกล่าวถึงขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการดำเนินการจัดกลุ่มที่ประยุกต์ใช้ การเปรียบเทียบระหว่างขั้นตอนวิธีที่พัฒนาในวิทยานิพนธ์และขั้นตอนวิธีทางการเรียนรู้ของเครื่อง

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ



บทที่ 2

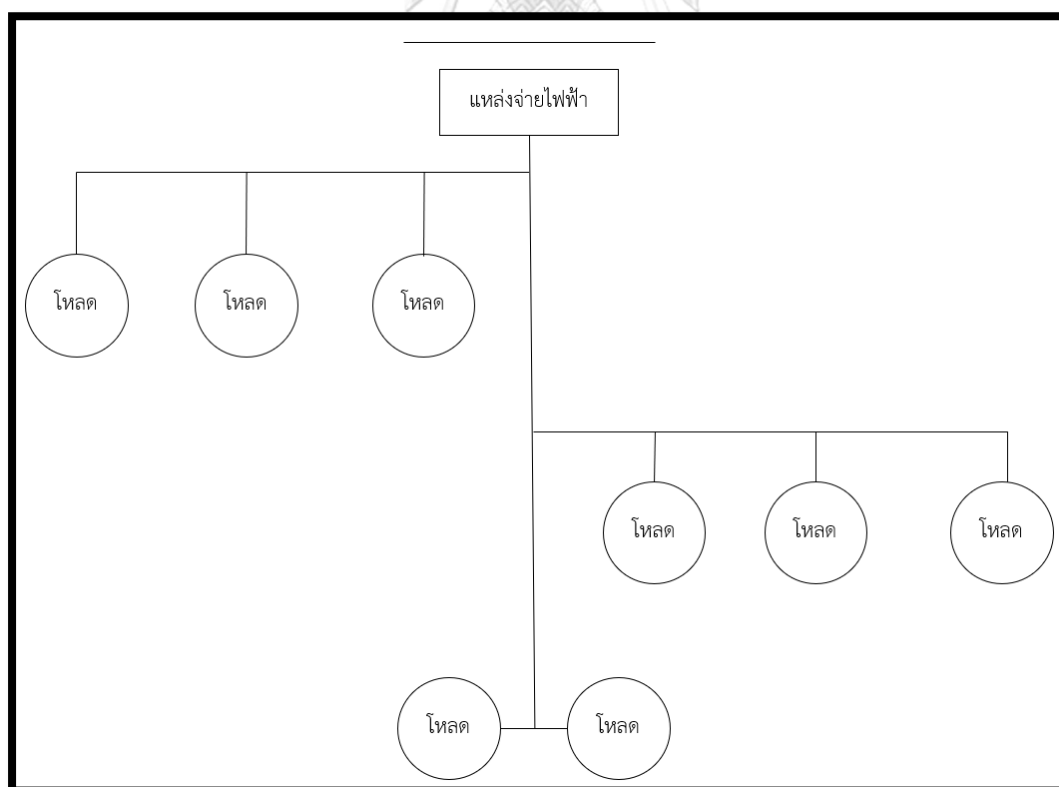
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีพื้นฐาน และขั้นตอนวิธีที่ใช้สำหรับพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริด

2.1 รูปแบบโครงสร้างในระบบสายส่ง [6]

2.1.1 ระบบแบบเรเดียล (Radial distribution system)

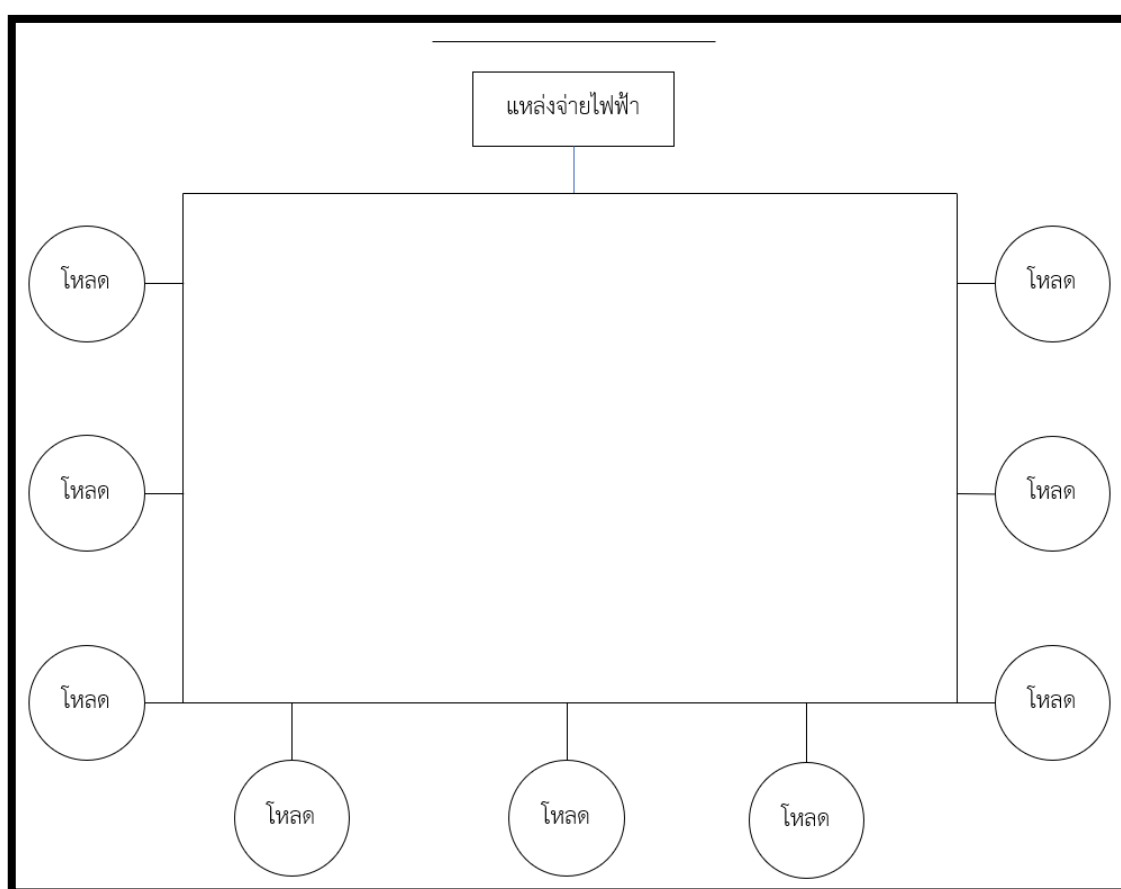
ระบบแบบเรเดียล คือระบบที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลด โดยมีการเรียงตัวของโหลดแบบแยกออกจากสายป้อนหลัก ซึ่งมีข้อดีคือ วงจรไม่ซับซ้อน ระดับกระแสลัดวงจรต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ถ้าเกิดข้อผิดพลาดหรือไฟฟ้าดับที่ต้นทาง ไฟฟ้าจะดับทั้งหมด ตัวอย่างโครงสร้างแบบเรเดียลแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างโครงสร้างสายป้อนแบบระบบเรเดียล

2.1.2 ระบบแบบวงรอบ (Loop distribution system)

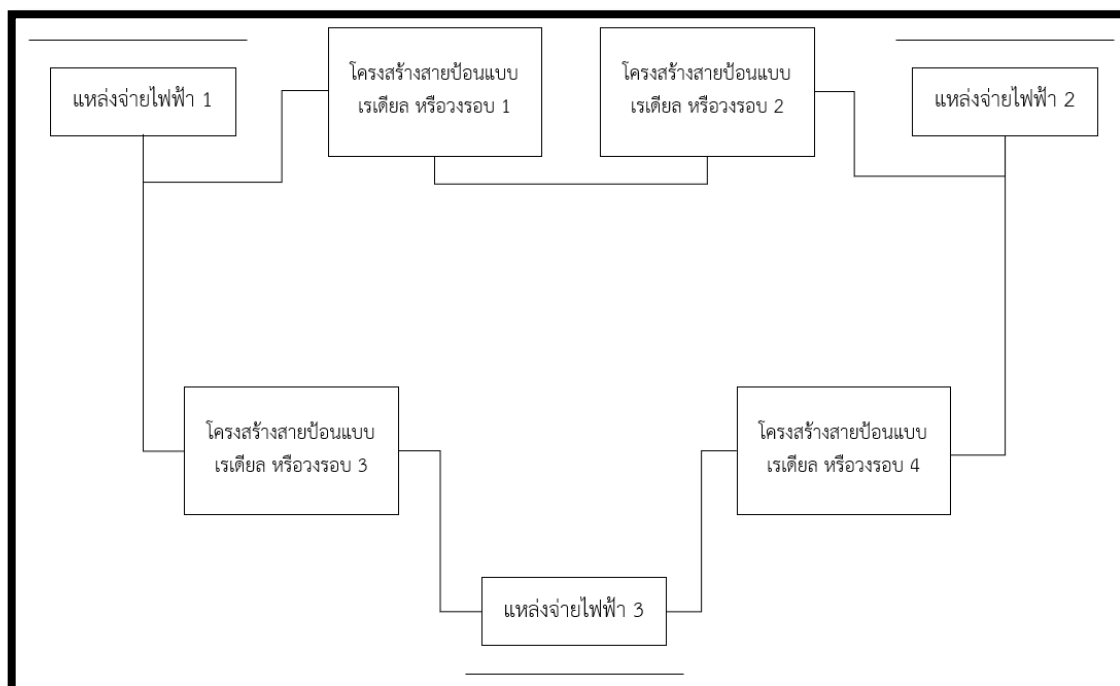
ระบบแบบวงรอบ คือระบบที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลด ซึ่งสายป้อนหลักเรียงตัวแบบเป็นวงรอบผ่านโหลด และกลับเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งมีข้อดีคือสามารถปลดวงจรออกในกรณีที่เกิดข้อผิดพลาด ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในวงจรด้วยตัวตัดวงจรดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างโครงสร้างสายป้อนแบบวงรอบ

2.1.3 ระบบแบบเครือข่าย (Network distribution system)

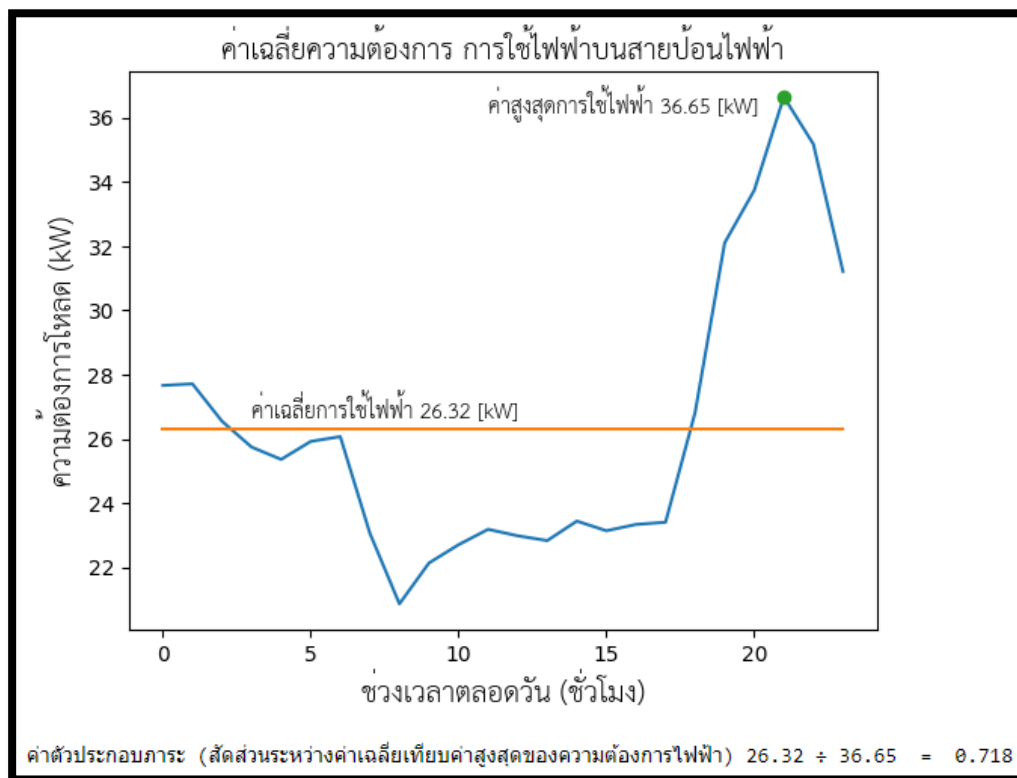
ระบบแบบเครือข่าย คือระบบที่มีการเชื่อมต่อสายป้อนทั้งแบบเรเดียล และแบบวงรอบเข้าถึงกันซึ่งระบบจะมีความซับซ้อนกว่าสองระบบข้างต้น แต่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างโครงสร้างสายป้อนแบบระบบเครือข่าย

2.2 ขั้นตอนวิธีการคำนวณค่าตัวประกอบภาระ (Load factor)

ค่าตัวประกอบภาระ คือค่าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยของความต้องการกำลังไฟฟ้าต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับตัวอย่างการคำนวณแสดงในรูปที่ 4 และสมการการคำนวณดังสมการที่ 1



รูปที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณค่าตัวประกอบภาระ

$$\text{ค่าตัวประกอบภาระ} = \frac{\text{ค่าเฉลี่ยความต้องการใช้ไฟฟ้า (kW)}}{\text{ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (kW)}} \quad (1)$$

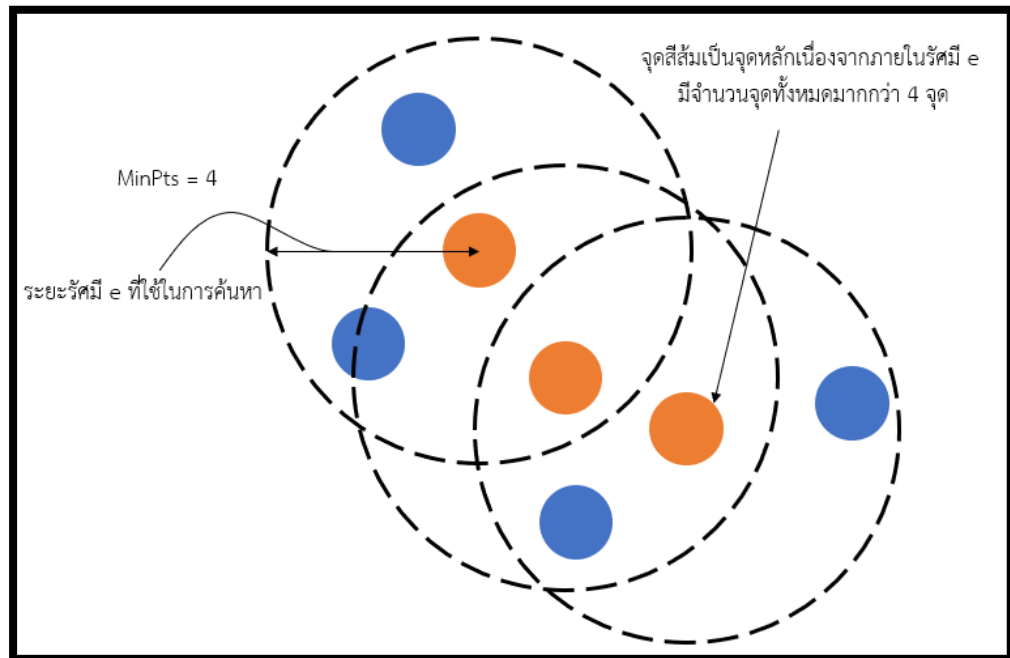
2.3 ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่องแบบต่างๆ

2.3.1. ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มตามความหนาแน่นแบบ Density-based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN)

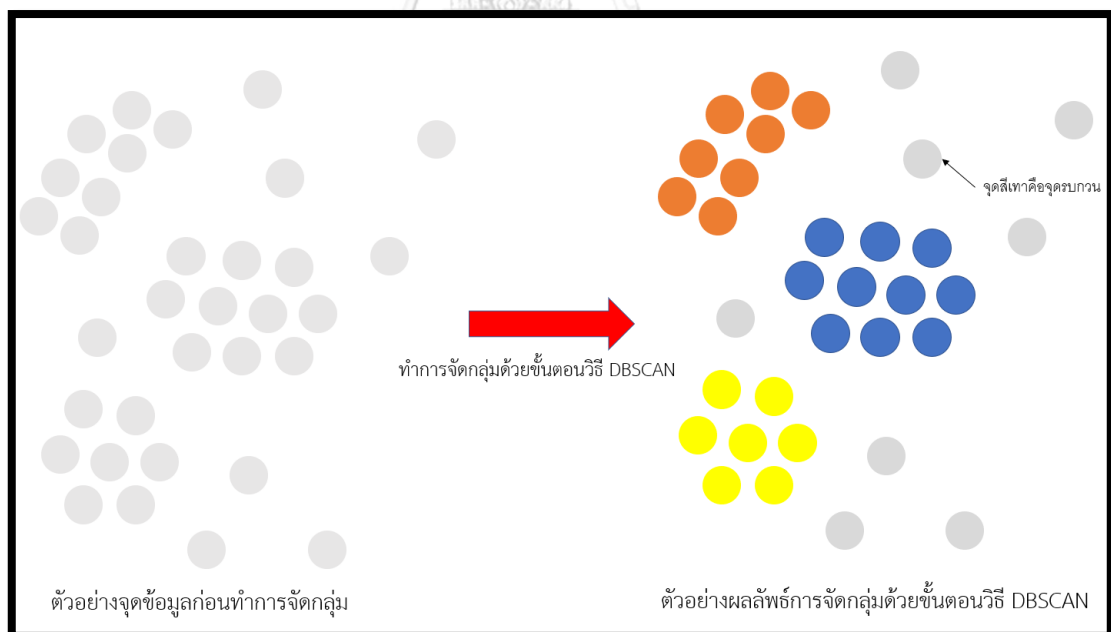
DBSCAN เป็นขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มตำแหน่งหรือจุดข้อมูล โดยมีแนวคิดคือ รวมจุดที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันให้เป็นกลุ่มเดียวกัน อย่างมีเงื่อนไข พิจารณาจุดที่อยู่ภายในรัศมีที่กำหนด (ϵ) ของจุดที่สนใจ ถ้ามีจำนวนจุดภายในรัศมีนั้นหรือจำนวนจุดเพื่อนบ้าน ไม่น้อยกว่าจำนวนจุดที่กำหนด (minPts) จะกำหนดจุดที่สนใจนั้นเป็นจุดหลัก และจะเป็นจุดที่มีการรวมจุดใกล้เคียงเข้าด้วยกันเป็นกลุ่ม โดยองค์ประกอบของขั้นตอนวิธีแสดงดังรูปที่ 5 และตัวอย่างชุดข้อมูลก่อนและหลังการจัดกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธี DBSCAN สามารถแสดงดังรูปที่ 6 สำหรับขั้นตอนวิธี DBSCAN มีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. พิจารณาจุด P ใดๆ แต่ละจุดภายในฐานข้อมูลของจุดที่ยังไม่ถูกพิจารณา เพื่อพิจารณาให้เป็นจุดหลัก ซึ่งมีเงื่อนไขคือ มีจำนวนจุดใดๆภายใน รัศมี ϵ มากกว่าจำนวนขั้นต่ำไม่น้อยกว่า minPts โดยวัดจากจุด P หากครบเงื่อนไขข้างต้น จุด P จะถูกพิจารณาให้เป็นจุดหลัก (core point)
2. กำหนดจุดที่ไม่ถูกพิจารณาให้เป็นจุดหลัก ให้เป็นจุดที่ไม่ใช่จุดหลัก (non-core points)
3. พิจารณาจุดหลักในฐานข้อมูลจุดหลักโดยการสุมจุดหลักทีละจุด เพื่อรวมกลุ่มจุดหลักให้เป็นกลุ่มเดียวกัน โดยมีเงื่อนไขการพิจารณาคือ จุดหลักที่อยู่ภายในรัศมี ϵ ของจุดหลักที่ถูกสุม จะนับเป็นจุดที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกัน
4. พิจารณาจุดที่ไม่ใช่จุดหลักทุกจุดเพื่อรวมเข้ากลุ่ม โดยมีเงื่อนไขการพิจารณาคือ จุดที่ไม่ใช่จุดหลักใดๆแต่อยู่ภายในกลุ่มจุดหลักใดๆในรัศมี ϵ จะถูกพิจารณาให้รวมเป็นกลุ่มเดียวกัน
5. สำหรับจุดอื่นๆที่ไม่ใช่จุดหลัก และไม่ถูกพิจารณาเข้ากลุ่ม จะถูกพิจารณาให้เป็นจุดรบกวน

ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม DBSCAN จะมีความซับซ้อนทางเวลาโดยเฉลี่ย คือ $O(n \log n)$ และมีความซับซ้อนได้มากที่สุดคือ $O(n^2)$ และ เมตริกซ์ระยะทางจะมีการใช้ความจำทั้งหมด $O(n^2)$ ในขณะที่ถ้าไม่ใช้รูปแบบการเก็บระยะทางเป็นเมตริกซ์จะใช้หน่วยความจำ $O(n)$



รูปที่ 5 องค์ประกอบของขั้นตอนวิธี DBSCAN

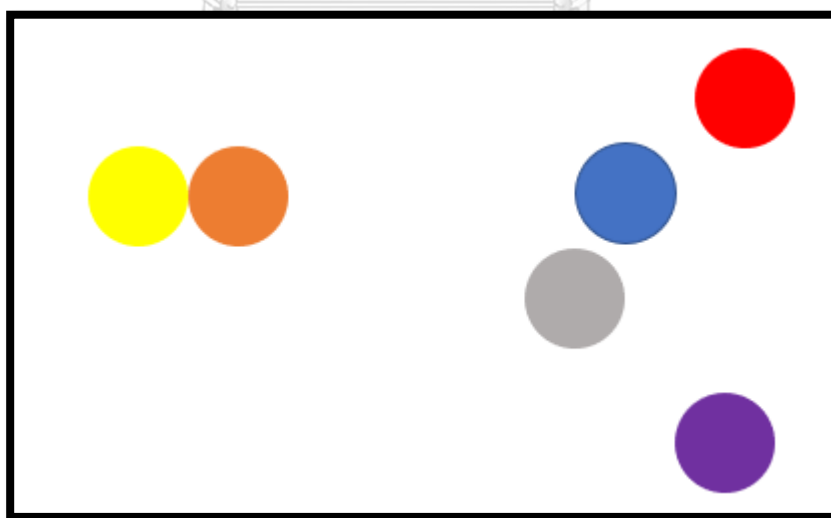


รูปที่ 6 ตัวอย่างก่อนและหลังการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยขั้นตอนวิธี DBSCAN

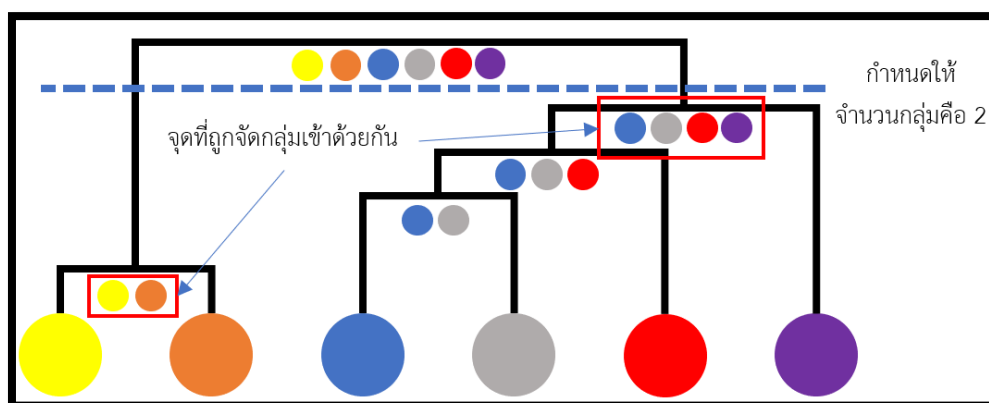
2.3.2 ขั้นตอนการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอด (Hierarchical agglomerative clustering) [7]

การจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอด เป็นการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นประเภทหนึ่งของการจัดกลุ่มตามลำดับชั้น โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ การจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอด (Hierarchical agglomerative clustering) ในการทดสอบจัดกลุ่ม ซึ่งมีหลักการทำงานคือ วนซ้ำเพื่อรวมจุดหรือกลุ่มที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดตามโครงสร้างกราฟทีละคู่ให้เป็นกลุ่ม พร้อมจดจำลำดับการรวมกลุ่มนั้นจากล่างขึ้นบน จนกระทั่งสามารถรวมจุดทั้งหมดเป็นกลุ่มเดียวได้ ซึ่งเป็นกระบวนการสร้าง โครงสร้างต้นไม้ (dendrogram) จุดล่างสุดของต้นไม้แสดงถึงใบไม้หลายๆใบซึ่งเป็นตัวแทนของโหนดแต่ละโหนด และรากต้นไม้เป็นตัวแทนการเชื่อมโยงกันระหว่างโหนด เมื่อต้องการแยกกลุ่มตามจำนวนที่ผู้ใช้งานกำหนด โดยจะแบ่งกลุ่มตามโครงสร้างต้นไม้จากบนลงล่าง เพื่อให้ได้จำนวนกลุ่มโหนดเท่ากับจำนวนกลุ่มที่ผู้ใช้งานกำหนด โดยตัวอย่างชุดข้อมูลที่น่ามาสร้างโครงสร้างต้นไม้จะแสดงดังรูปที่ 7 และโครงสร้างต้นไม้ที่ถูกสร้างขึ้นและจัดกลุ่มจะแสดงดังรูปที่ 8

ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอดมีความซับซ้อนทางเวลาคือ $O(n^2 \log n)$ และต้องใช้หน่วยความจำ $O(n^2)$



รูปที่ 7 ตัวอย่างจุดที่ต้องการจัดกลุ่ม

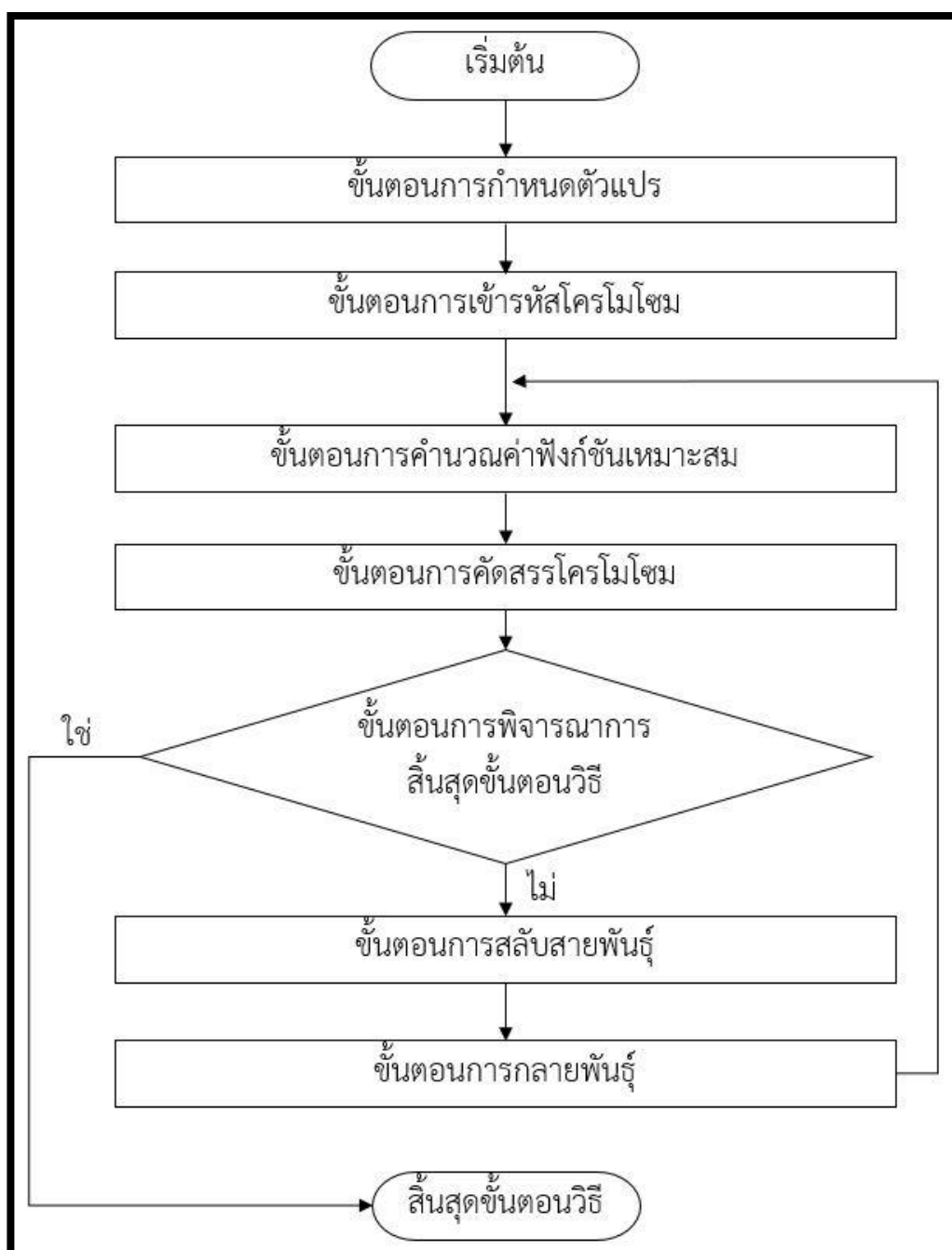


รูปที่ 8 ตัวอย่างการสร้างโครงสร้างต้นไม้เพื่อจัดกลุ่ม

2.4 ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย (simple genetic algorithm)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นขั้นตอนวิธีที่สามารถประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มเพื่อให้ได้กลุ่มที่เหมาะสมในปริภูมิของคุณสมบัติและปัจจัยแวดล้อม เช่น จัดกลุ่มตามความใกล้เคียงของตำแหน่งวัตถุ โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีการเลียนแบบมาจากระบวนการ การคัดสรรทางธรรมชาติประกอบไปด้วย โครโมโซมซึ่งแต่ละโครโมโซมประกอบไปด้วยยีนจำนวนหนึ่ง โดยยีนแทนลักษณะแต่ละส่วนภายในกลุ่ม ผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 9 ขั้นตอนการทำงานมีดังต่อไปนี้

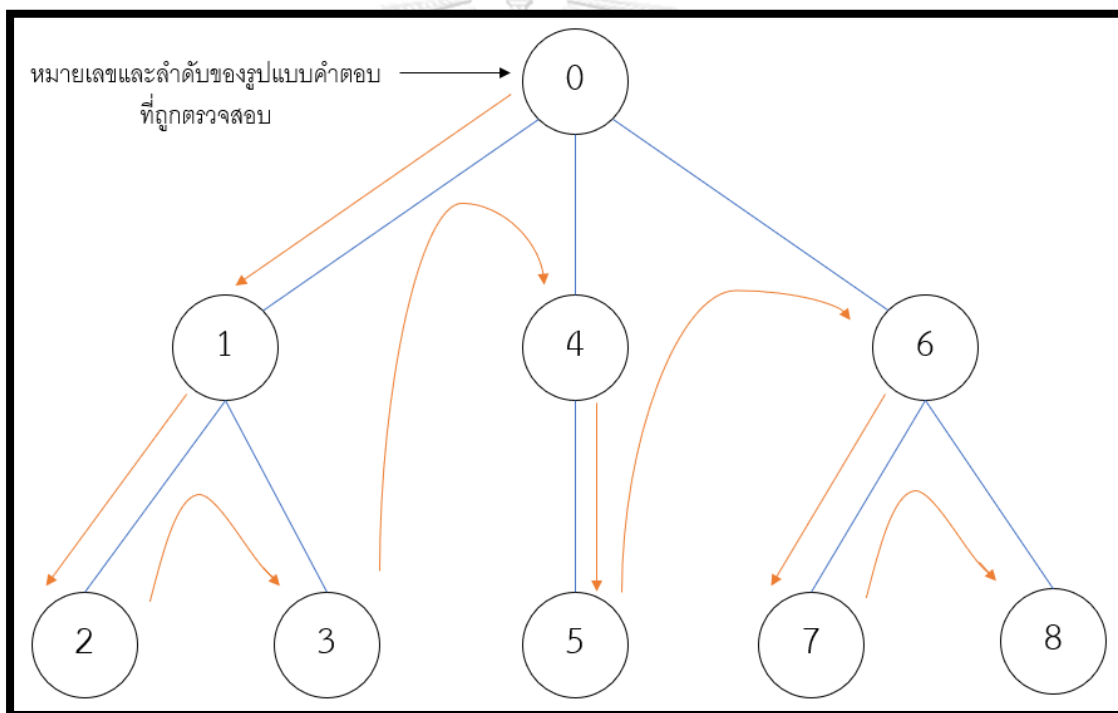
- 1 ขั้นตอนการกำหนดตัวแปร คือการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ได้แก่ จำนวนการทวนซ้ำขั้นตอนวิธี จำนวนโครโมโซมของประชากร จำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรร และ โอกาสในการกลายพันธุ์
- 2 ขั้นตอนการเข้ารหัสโครโมโซม คือการสร้างโครโมโซมที่แทนรูปแบบวิธีแก้ปัญหา แต่ละโครโมโซมประกอบด้วยยีน แต่ละยีนแทนลักษณะของคำตอบ
- 3 ขั้นตอนการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสม คือฟังก์ชันประสิทธิผลของคำตอบของแต่ละโครโมโซม
- 4 ขั้นตอนการคัดสรร คือขั้นตอนการนำฟังก์ชันความเหมาะสมมาใช้ในการคำนวณและคัดเลือกโครโมโซมที่เหมาะสมกับวิธีแก้ไขปัญหามากที่สุดเป็นจำนวนเท่ากับตัวแปรจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรกำหนดไว้
- 5 ขั้นตอนตรวจสอบการสิ้นสุดของขั้นตอนวิธี คือการกำหนดเกณฑ์การสิ้นสุดการทวนซ้ำของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เช่นการกำหนดด้วยจำนวนการทวนซ้ำขั้นตอนวิธี
- 6 ขั้นตอนการสลับสายพันธุ์ คือขั้นตอนการแลกเปลี่ยนยีนของโครโมโซมผลลัพธ์จากขั้นตอนการคัดสรรและโครโมโซมประชากรเพื่อสร้างโครโมโซมใหม่อย่างสุ่ม
- 7 ขั้นตอนการกลายพันธุ์ คือขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงยีนในโครโมโซมอย่างสุ่ม



รูปที่ 9 ผังงานการทำงานขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย

2.5 การค้นหาคำตอบแบบตามแนวลึก (Depth-first search)

การค้นหาคำตอบแบบตามแนวลึก เป็นการค้นหาคำตอบตามรากของต้นไม้คำตอบ หรือข้อมูลกราฟ ขั้นตอนวิธีจะเริ่มดำเนินการจากรากของโหนดแรกไปตามแนวลึก และตรวจสอบความเป็นไปได้ทั้งหมดตามแนวลึกแรก หลังจากนั้นวนซ้ำดำเนินการค้นหาคำตอบตามแนวลึกถัดๆ ไปของกิ่งก้านของคำตอบตามลำดับ โดยขั้นตอนวิธีจะหยุดการทำงาน เมื่อทุกคำตอบถูกตรวจสอบทั้งหมด หรือเมื่อขั้นตอนวิธีพบคำตอบที่ต้องการ ในการหาคำตอบของกราฟที่มีการเก็บข้อมูลไปตามแนวโหนด ขั้นตอนวิธีจะดำเนินการเก็บข้อมูลเส้นทางของโหนดใดๆ ที่ขั้นตอนวิธีได้ดำเนินการหาคำตอบแล้ว เพื่อป้องกันการวนซ้ำ และในกรณีที่ไม่สามารถหาคำตอบที่ต้องการได้ในกราฟ ตัวอย่างการดำเนินการค้นหาคำตอบตามรากต้นไม้แบบการค้นหาเชิงลึกแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างการดำเนินการค้นหาคำตอบตามรากต้นไม้แบบการค้นหาเชิงลึก

บทที่ 3

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอสิ่งที่ได้จากการศึกษารายงาน และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มไมโครกริดได้แก่ ปัญหาของระบบไฟฟ้า การแยกโดเมนไมโครกริด การประเมินความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า และแนวทางการจัดกลุ่มไมโครกริด ซึ่งสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

3.1 ปัญหาของระบบไฟฟ้า

จากการศึกษาทบทวนรายงาน ผลงานวิจัย และบทความวิชาการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของระบบไฟฟ้าซึ่งก่อให้เกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งแบ่งสาเหตุออกเป็น 3 สาเหตุดังต่อไปนี้

3.1.1 ปัญหาด้านอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ตัวตัดวงจรไฟฟ้า หรือ สวิตช์เกียร์ อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถเป็นเหตุให้เกิดไฟฟ้าดับได้เนื่องจาก การใช้งานที่เกินอายุขัย การซ่อมแซมที่ไม่เหมาะสม การปนเปื้อนของสารเคมี การใช้งานเกินประสิทธิภาพ เป็นต้น

3.1.2 ปัญหาด้านภัยธรรมชาติ

ภัยธรรมชาติที่ส่งผลต่อระบบไฟฟ้าที่เคยเกิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาได้แก่ แผ่นดินไหว พายุทอร์นาโด พายุเฮอริเคน พายุหิมะ ไฟป่า ลมฝน หรืออากาศเย็น เป็นต้น ตารางที่ 1 จะแสดงค่าทางสถิติของสาเหตุการเกิดไฟฟ้าดับ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบ ค่าเฉลี่ยของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบ [8]

ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติซึ่งเกิดไฟฟ้าดับขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา [5]

สาเหตุ	% ของเหตุการณ์	ขนาดโดยเฉลี่ย (MW)	จำนวนผู้ได้รับผลกระทบโดยเฉลี่ย
แผ่นดินไหว	0.8	1,408	375,900
พายุทอร์นาโด	2.8	367	115,439
พายุโซนร้อน	4.2	1,309	782,695
พายุหิมะ	5.0	1,152	343,448
ฟ้าผ่า	11.3	270	70,944
ลม/ฝน	14.8	793	185,199
อากาศหนาว	5.5	542	150,255
ไฟ	5.2	431	111,244
การจูงใจโจมตีระบบไฟฟ้า	1.6	340	24,572
การขาดแคลนไฟฟ้า	5.3	341	138,957
สาเหตุภายนอกอื่นๆ	4.8	710	246,071
ข้อผิดพลาดจากอุปกรณ์	29.7	379	57,140
ข้อผิดพลาดของการดำเนินการ	10.1	489	105,322
แรงดันไฟฟ้าตก	7.7	153	212,900
การลัดโหดแบบอาสาสมัคร	5.9	190	134,543

3.1.3 ปัญหาการโจมตีทางไซเบอร์

ระบบควบคุมอัตโนมัติ ในระบบไฟฟ้ามีประโยชน์สำหรับการควบคุมระยะไกลของระบบไฟฟ้า รวมถึงการรับรู้สถานการณ์และการกำหนดค่าเครือข่ายอัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย เช่นระบบ SCADA ในปี 2015 ประเทศยูเครน เกิดไฟดับเป็นเวลากว่า 6 ชั่วโมง ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้ากว่า 225,000 ราย ซึ่งเกิดจากการโจมตีทางไซเบอร์ที่ระบบควบคุมไฟฟ้า ในงานวิจัย [9] ได้วิเคราะห์การโจมตีทางไซเบอร์รวมถึงกระบวนการเข้าถึงระบบควบคุมไฟฟ้า และวิธีการป้องกัน และบรรเทาการโจมตีระบบไฟฟ้า

จากปัญหาข้างต้น ทำให้ตระหนักได้ถึงถึงความสำคัญของเสถียรภาพและความยืดหยุ่นของระบบไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันหน่วยงานต่างๆ ได้เตรียมความพร้อมเพื่อสร้างความมั่นคงต่อระบบไฟฟ้า เพื่อเตรียมตัวในการรับมือการเกิดปัญหาของระบบไฟฟ้าในอนาคต โดยในงานวิจัย [10] ได้ประเมิน ค่าความเสียหายของการเกิดไฟฟ้าขัดข้องราว 44 พันล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี ตามมูลค่าในปี 2015 เพื่อลดค่าใช้จ่ายจากการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง จึงจำเป็นที่จะต้องมีการแก้ไขหรือป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้น และเพิ่มความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า

3.2 เกณฑ์การประเมินความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า

ความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ประเมินความเพียงพอ และความสามารถในการรองรับความต้องการไฟฟ้า ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินค่าความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า สามารถประเมินได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ และส่วนที่ต้องการประเมิน โดยตัวอย่างค่าที่สามารถนำมาประเมินความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้าจะสามารถยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 การประเมินค่าความน่าเชื่อถือของระบบการกำเนิดไฟฟ้า

หนังสือระบบกำเนิดแบบกระจาย [11] กล่าวถึง ดัชนีความเพียงพอของระบบกำเนิดไฟฟ้า 4 ดัชนีดังต่อไปนี้

- ค่าการขาดแคลนของความน่าจะเป็นโหลด (Loss of load probability) คือค่าความน่าจะเป็นที่ความต้องการโหลดมากกว่าความสามารถในการกำเนิดไฟฟ้าของระบบ
- ค่าการขาดแคลนของโหลดที่คาดหวัง (Loss of load expectation) คือ จำนวนวันหรือชั่วโมงโดยเฉลี่ยในช่วงโหลดสูงสุดที่คาดหวังที่มากกว่าความสามารถในการกำเนิดไฟฟ้าของระบบ
- ค่าการขาดแคลนของโหลดจากความถี่ (Loss of load frequency) คือค่าความต่างระหว่างความถี่ที่คาดหวังและความถี่ที่บกพร่อง
- ค่าการขาดแคลนของโหลดจากระยะเวลา (Loss of load duration) คือช่วงเวลาที่มีความต้องการโหลดสูงกว่าความสามารถในการกำเนิดไฟฟ้าสูงสุด

3.2.2 การประเมินค่าความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าไมโครกริด

การพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ตกริด วิทยาลัยการเมืองแม่ฮ่องสอน [12] ประเมินความน่าเชื่อถือของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลเชิงสถิติ ในพื้นที่อำเภอเมือง แม่ฮ่องสอน อำเภอปาย อำเภอปางมะผ้า และภาพรวมทั้งจังหวัด ในประเทศไทยตั้งแต่ปี 2550 – 2557 โดยใช้ดัชนีดังต่อไปนี้

- ดัชนีค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่ไฟฟ้าดับ (SAIFI) คือจำนวนครั้งที่ไฟฟ้าดับต่อ 1 ปี ซึ่งมีหน่วยเป็นจำนวนครั้งต่อปีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า
- ดัชนีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับ (SAIDI) ดัชนีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับ คือระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับเฉลี่ยต่อ 1 ปี ซึ่งมีหน่วยเป็นจำนวนนาทิต่อปีต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

3.2.3 การประเมินค่าความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าไมโครกริดในขณะดำเนินการ

มาตรฐาน IEEE ได้ให้จำกัดความของดัชนีค่าความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า ซึ่งแต่ละค่าดัชนีถูกใช้ในการประเมินได้ในหลากหลายสถานการณ์ โดยจะยกตัวอย่างดัชนีที่มีการใช้คำนวณใน [13] ดังต่อไปนี้

- ความน่าจะเป็นของการขาดแคลนของโหลด คือสัดส่วนของเวลาระหว่าง ช่วงเวลาที่โหลดไม่ได้รับพลังงานในช่วงเวลาการแยกโดดเทียบ ระยะเวลาการแยกโดดของไมโครกริด
- ค่าความคาดหวังการปลดโหลดในช่วงเวลาการแยกโดด คือสัดส่วนของ ค่าเฉลี่ยของ กำลังไฟฟ้าของโหลดที่ถูกปลดออก ในช่วงเวลาการแยกโดดเทียบจำนวนครั้งของโหลดที่ถูกขัดจังหวะ

3.3 การแยกโดดไมโครกริด

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนิยามความหมายของการแยกโดดไมโครกริดคือ การแยกกลุ่มโหลดจากกริดหลัก และมีการดำเนินงานภายในกริดทั้งในด้านการผลิตไฟฟ้า และการบริหารจัดการไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ มีความยืดหยุ่น และเพียงพอต่อความต้องการภายในไมโครกริดให้สามารถเข้าถึงการใช้ไฟฟ้าแม้กริดหลักจะเกิดไฟฟ้าดับ ทั้งนี้จะสามารถช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริด [11]

3.4 แนวทางการจัดกลุ่มไมโครกริด

การจัดกลุ่มโหลดให้เป็นไมโครกริดเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ในขณะที่กริดหลักเกิดข้อบกพร่องในระบบไฟฟ้า โดยการจัดกลุ่มโหลดเพื่อเป็นไมโครกริดสามารถใช้เกณฑ์ต่างๆ เพื่อจัดกลุ่มโหลดตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะจัดกลุ่มโหลดให้มีความการใช้พลังงานตามความจุอย่างคุ้มค่ามากที่สุดภายในแต่ละกลุ่มโดยเฉลี่ยในขณะแยกโดด

วิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดสามารถจัดกลุ่มได้หลายวิธี ใน [14] ได้ทดสอบการใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม 3 ประเภท ได้แก่ ขั้นตอนวิธีประเภทการจัดกลุ่มแบบส่วน ขั้นตอนวิธีประเภทการจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น และขั้นตอนวิธีประเภทการจัดกลุ่มตามความหนาแน่น ในการจัดกลุ่มโหลดในพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของโหลดแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแต่ละประเภทยังกล่าวอาจไม่ได้สร้างกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยใน ตารางที่ 2 ได้สรุปข้อจำกัดความสามารถของวิธีการจัดกลุ่มแต่ละประเภท

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบข้อจำกัดของขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่ม

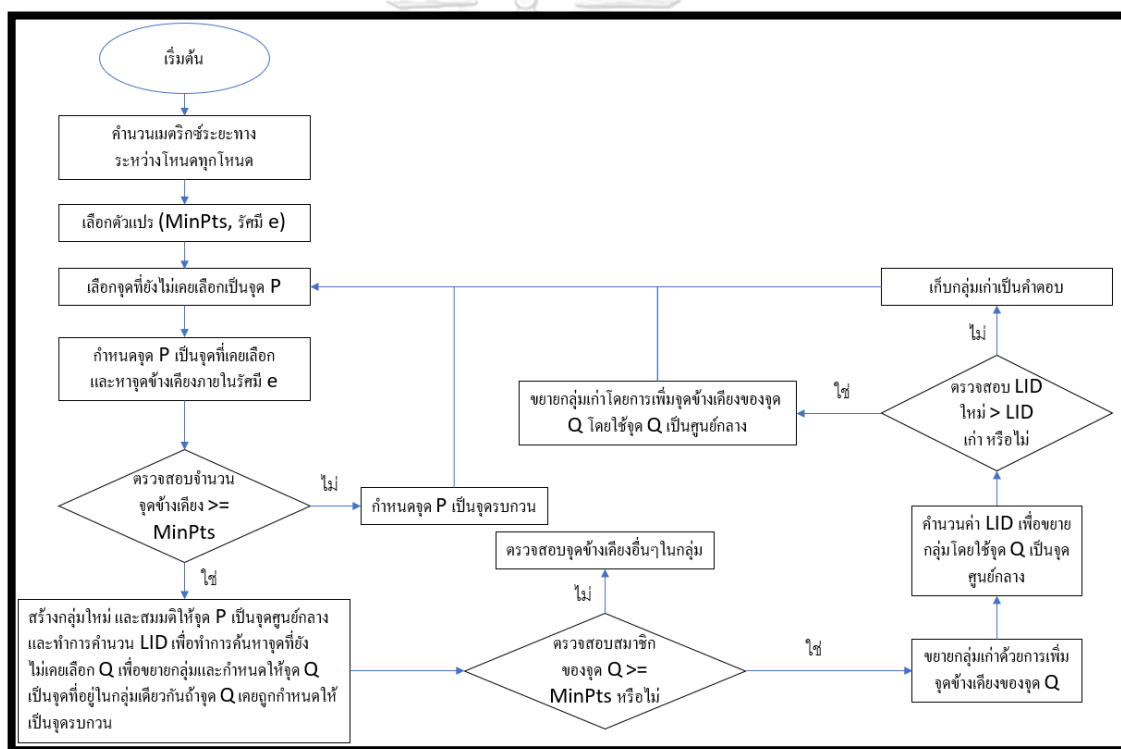
ประเภทขั้นตอนวิธี	ข้อจำกัด
ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มประเภทแบบ ส่วน เช่น k-means	<ul style="list-style-type: none"> ● ขั้นตอนวิธีไม่สามารถตรวจสอบจำนวนกลุ่มที่ถูกจัดได้ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องกำหนดตัวแปรจำนวนกลุ่มเอง ● การคำนวณมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นๆ
ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มประเภทตามลำดับชั้น (Hierarchical clustering) เช่น Agglomerative	<ul style="list-style-type: none"> ● ขั้นตอนวิธีไม่คงทนและมี ความไวต่อข้อมูลรบกวน และค่าที่ผิดปกติ
ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มประเภทตามความหนาแน่น เช่น DBSCAN	<ul style="list-style-type: none"> ● ผู้ใช้งานต้องกำหนดตัวแปรที่มีความเฉพาะซึ่งขึ้นกับข้อมูลนำเข้า

ในงานวิจัย [15] ได้เสนอ ขั้นตอนวิธี L-DBSCAN ซึ่งใช้ในการจัดกลุ่มเพื่อรวมกลุ่มไมโครกริดที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าขาด และกลุ่มไมโครกริดที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าเกินเข้าด้วยกัน โดยขั้นตอนวิธีจะจัดกลุ่มตามระยะห่างเชิงพื้นที่ระหว่างตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยขั้นตอนวิธี DBSCAN และจะหยุดการจัดกลุ่มไมโครกริดเมื่อความต้องการพลังงานจากภายนอกของไมโครกริดเข้าใกล้ค่า L ที่กำหนด ซึ่งคือการจัดกลุ่มด้วยการใช้พลังงานสุทธิและระยะห่างเชิงพื้นที่เพื่อเป็นขอบเขตสำหรับการจัดกลุ่มไมโครกริด

ในงานวิจัย [16] ปรับปรุงการเรียนรู้ของเครื่อง DBSCAN โดยการนำค่าความหนาแน่นของความต้านทานโหลด (Load-impedance density หรือ LID) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่าง ผลรวมของโหลดทั้งหมดในกลุ่มเทียบกับระยะทางที่ไกลที่สุดระหว่างจุดภายในกลุ่ม มาใช้ร่วมกับ DBSCAN เพื่อนำมาใช้ในการจัดกลุ่มไมโครกริดให้กับโหลดซึ่งอยู่บนสายป้อนเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของแหล่งกระจายพลังงานและแบตเตอรี่รวมถึงการเลือกขนาดของแบตเตอรี่เพื่อให้มีกำลังสูญเสียน้อยที่สุดจากการทดสอบพบว่าจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่ถูกจัดด้วย DBSCAN ที่ถูกปรับปรุงแล้วจะเป็นจุดที่ดี

ที่สุดในการตั้งแหล่งกระจายพลังงานและแบตเตอรี่ เนื่องจากสามารถลดกำลังสูญเสียพลังงานในระบบส่งได้มากที่สุด โดยขั้นตอนวิธีสามารถดังรูปที่ 11 ซึ่งตัวแปร MinPts คือจำนวนจุดข้างเคียงที่ต่ำสุดที่จะสามารถสร้างกลุ่ม และ ϵ คือรัศมีของพื้นที่ซึ่งมีจุดศูนย์กลางคือจุดที่เลือก

ในงานวิจัย [17] เสนอขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางแบบหลายเส้นทาง โดยขั้นตอนวิธีนี้ไม่เพียงแค่ลดระยะทางโดยรวมแล้วยังช่วยหลีกเลี่ยงการชนทับกันของเส้นทางระหว่างพนักงานขายแต่ละคน สำหรับขั้นตอนวิธีที่ใช้ เป็นขั้นตอนวิธีที่มีประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมและการจัดกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง k-means โดยขั้นตอนวิธีดังกล่าวจะแบ่งตำแหน่งเป็นกลุ่มๆตามการจัดกลุ่มของ k-means และหาเส้นทางการเดินทางในแต่ละกลุ่มโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในเชิงเวลาสูง



รูปที่ 11 แผนผังการทำงานของ การจัดกลุ่มด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง DBSCAN แบบปรับปรุง

ในงานวิจัย [18] เสนอวิธีการวิเคราะห์ลักษณะของแบบโหลดไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านเดี่ยวโดยใช้ การศึกษาเชิงสถิติแบบทดสอบภาวะสารูปสนิทธิ (Goodness-of-Fit) ในการพิจารณาลักษณะของโหลดตามเวลาที่ต่างกัน จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต่างกัน ผู้วิจัยพบว่าการกระจายตัวของโหลดแบบ ปกติ, แกมมา และ การแจกแจงลอการิธึม เป็นการกระจายตัวที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับการกระจายตัวของข้อมูลโหลดที่นำมาทดสอบมากที่สุด

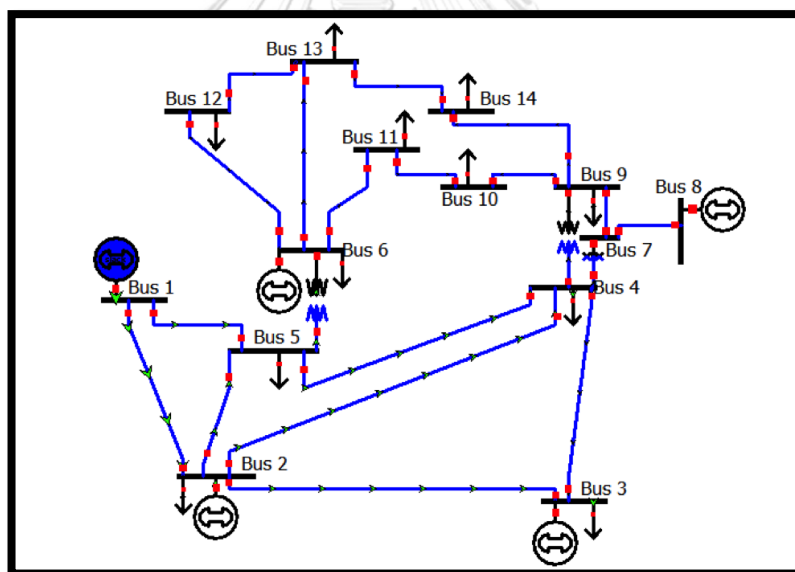
บทที่ 4

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

การพัฒนาขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดนั้น ถูกพัฒนาและทดสอบด้วยภาษาไพทอน ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ในการพัฒนาและทดสอบขั้นตอนวิธี มีดังต่อไปนี้

4.1 แบบจำลองสายป้อนไฟฟ้า

จากการศึกษาทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มไมโครกริด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประยุกต์ใช้ข้อมูลระบบทดสอบของโหนด ตำแหน่ง และการเชื่อมต่อในสายป้อนของระบบจำหน่ายในแบบจำลองต่างๆดังต่อไปนี้



รูปที่ 12 โครงสร้างตำแหน่งโหนดบนสายป้อน IEEE-14 bus

4.1.1 ข้อมูลเชิงปริมาณและโครงสร้างสายป้อน IEEE [19]

American Electric Power เสนอข้อมูลตำแหน่งและการเชื่อมต่อของแต่ละโหนดส่วนหนึ่งบนสายป้อนบนระบบไฟฟ้าของ American Electric Power หรือ IEEE-14 bus กรณีทดสอบซึ่งประกอบด้วย 14 บัส, 5 แหล่งกำเนิดไฟฟ้า และ 11 โหลดไฟฟ้า ดังรูปที่ 12 ซึ่งจะใช้เป็นโครงสร้างสายป้อนเพื่อการทดสอบขั้นตอนวิธีในขั้นตอนดำเนินการวิจัย.

4.1.2 ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโหนดบนสายป้อน IEEE

ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของโหนดในแต่ละโหนดบนสายป้อน IEEE-14 bus จะสุ่มจากข้อมูลโหนดการใช้ไฟฟ้าของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งเป็นข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าของหม้อแปลงราย 30 นาที 12 เดือน โดยจะแปลงข้อมูลเป็นรายชั่วโมงจำนวน 12 เดือนเพื่อใช้เป็นตัวแทนของ ความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหนดแต่ละโหนดในงานวิทยานิพนธ์นี้

4.1.3 ข้อมูลดิบและโครงสร้างสายป้อนจาก กฟภ.

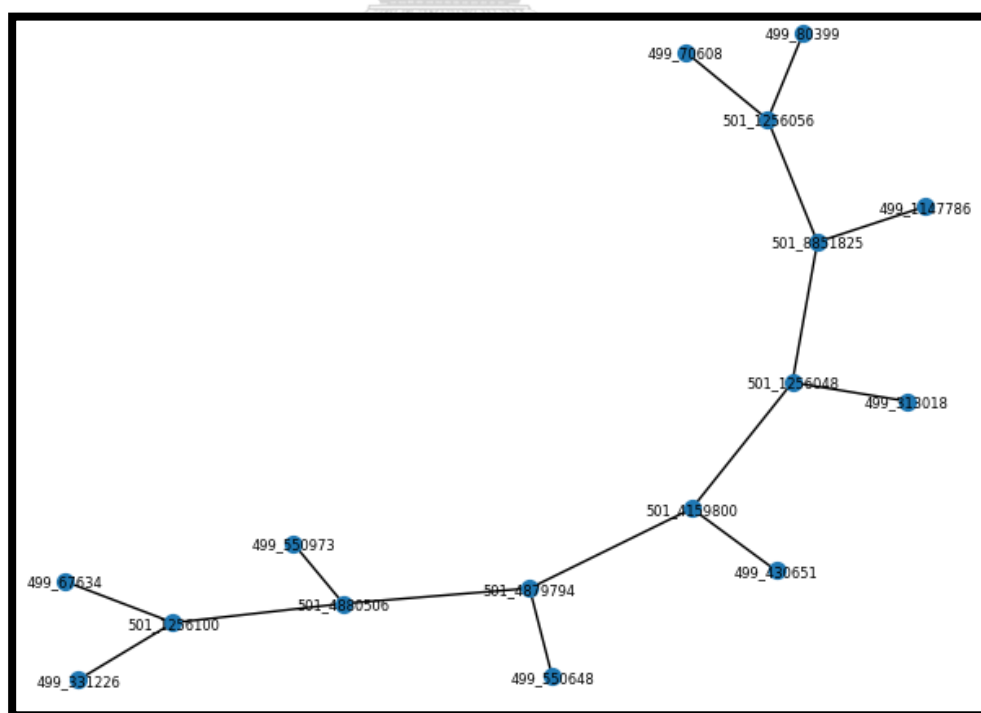
1	LineName	FromNode	ToNode
2	498_666125	493_2493	501_1273352
3	498_232323	501_1273352	506_14315_c
4	498_226975	506_14315	501_1273366
5	498_226953	501_1273366	501_1273385
6	498_234118	501_1273385	501_1273400
7	498_232943	501_1273366	501_1273376
8	496_2750350	501_1273376	499_68142
9	498_781389	501_1273376	501_4084365
10	498_781387	501_4084365	501_4083758

รูปที่ 13 ตัวอย่างข้อมูลการเชื่อมต่อจากโหนดหนึ่งไปอีกโหนดหนึ่ง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จัดเก็บข้อมูลระบบส่งไฟฟ้าแบบกระจายของจังหวัดหนึ่งในประเทศไทยในรูปของไฟล์ Excel ซึ่งประกอบไปด้วย กลุ่มสายป้อนรวมทั้งหมด 9 กลุ่ม ภายในแต่ละกลุ่มสายป้อนประกอบด้วย หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีหมายเลขแทนชื่อขึ้นต้นด้วย “499_” หรือโหนดจำนวนรวมทุกสายป้อนทั้งหมด 78 ลูก และโหนดอื่นๆที่ไม่ใช่โหนดซึ่งไม่ได้ขึ้นต้นด้วยหมายเลข “499_”

ตัวอย่างข้อมูลการเชื่อมต่อจากโหนดหนึ่งไปอีกโหนดหนึ่งแสดงดังรูปที่ 13 ตัวอย่างข้อมูลโพรไฟล์ภาระของหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 34 โพรไฟล์แสดงดังรูปที่ 14 และตัวอย่างกลุ่มโหนดหนึ่งบนสายป้อนแสดงดังรูปที่ 15 ซึ่งมีจุดสีน้ำเงินแสดงแทนโหนด และเส้นสีดำที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดแสดงแทนสายเชื่อมที่เชื่อมต่อระหว่างแต่ละโหนดเข้าด้วยกัน

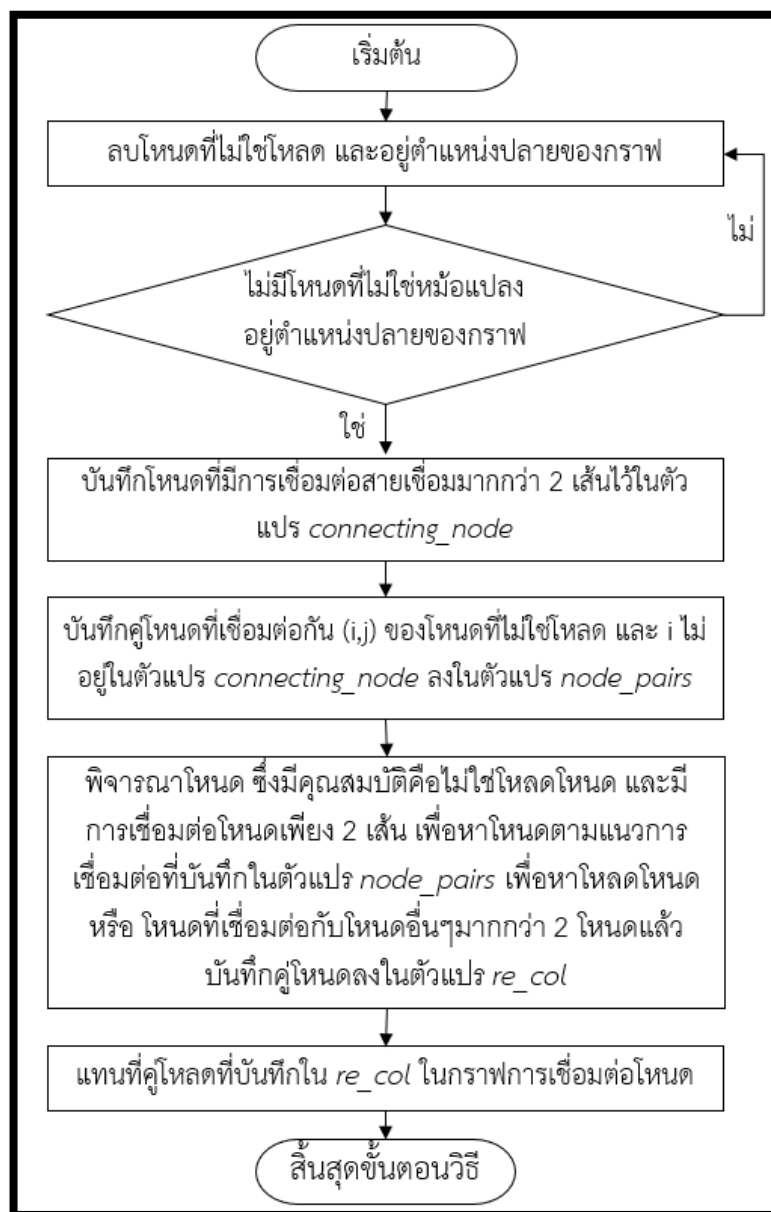
อย่างไรก็ตามข้อมูลดิบที่นำมาสร้างเป็นโครงสร้างกราฟดังรูปที่ 15 นั้นประกอบด้วยโหนดที่สามารถลบออกได้โดยไม่มีผลต่อโครงสร้างกราฟและไม่ใชโหนดที่เป็นโหนด ผู้จัดทำจึงทำความสะอาดข้อมูล (data cleansing) กราฟ เพื่อให้ขั้นตอนวิธีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีเงื่อนไขคือ โหนดอื่นๆที่ถูกกำจัดออกต้องไม่ทำให้รูปแบบการเชื่อมต่อของสายป้อนเปลี่ยนไป จะได้ตัวอย่างข้อมูลกราฟสายป้อนดังรูปที่ 16



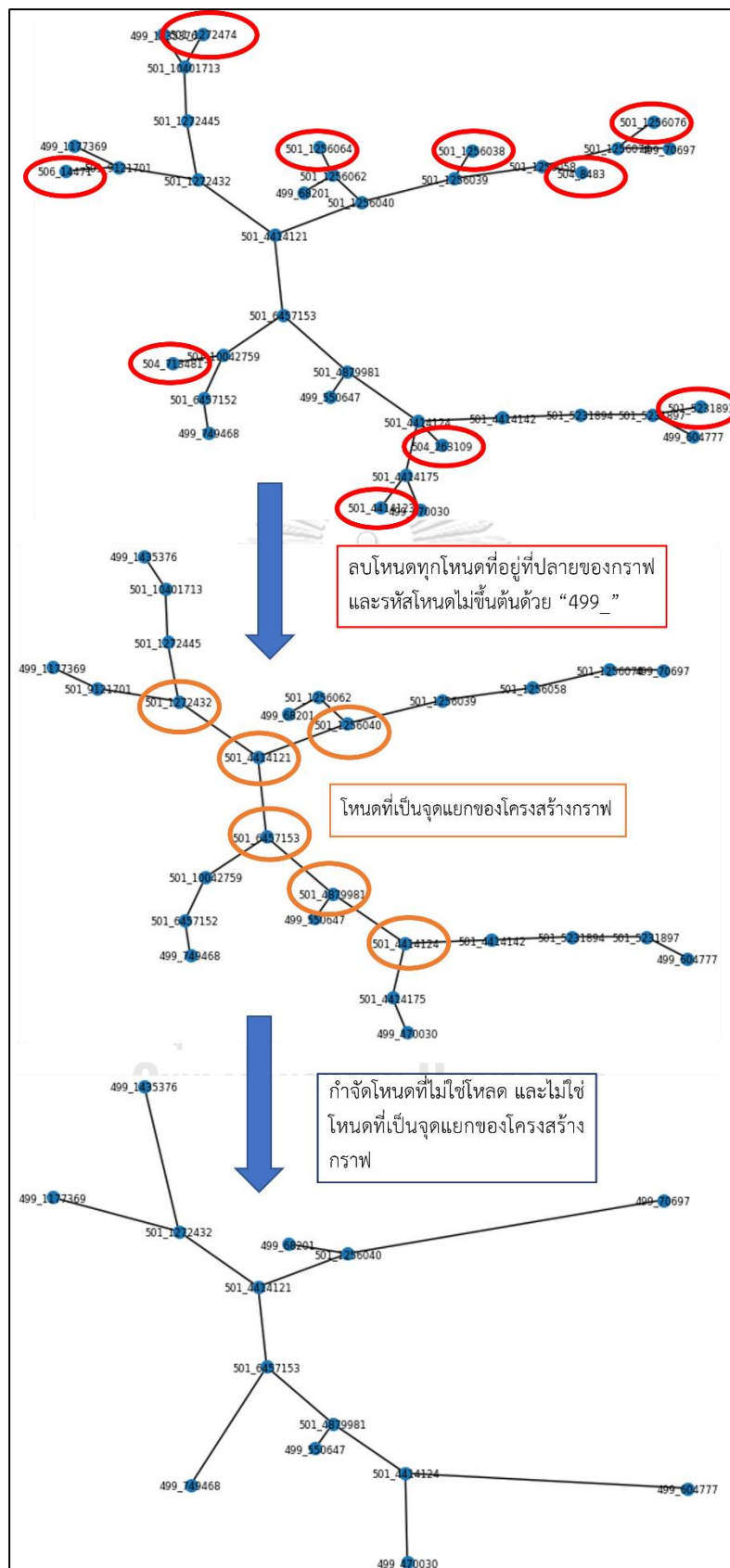
รูปที่ 16 ตัวอย่างกราฟการเชื่อมต่อกันของโหนดบนสายป้อนของ กฟภ. หลังจากการทำ
ความสะอาดข้อมูล (data cleansing)

ผังการทำความสะอาดข้อมูลแสดงดังรูปที่ 17 ตัวอย่างการทำความสะอาดข้อมูลแสดงดังรูปที่ 18 และขั้นตอนการทำความสะอาดข้อมูลมีดังต่อไปนี้

1. กำจัดโหนดที่ไม่ใช้หม้อแปลง หรือโหนดที่ไม่มีหมายเลข “499_” นำหน้า และมีการเชื่อมต่อโหนดเพียง 1 เส้น ออกจากกราฟทั้งหมด เพื่อกำจัดโหนดที่ไม่ใช่โหนดและอยู่ตำแหน่งปลายของกราฟ เนื่องจากโหนดที่อยู่ตำแหน่งปลายของกราฟคือโหนดเท่านั้น
2. บันทึกโหนดที่มีการเชื่อมต่อสายเชื่อมมากกว่า 2 เส้นไว้ในตัวแปร *connecting_node* เนื่องจากเป็นโหนดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างกราฟที่ทำให้เกิดจุดแยกของกราฟ
3. บันทึกคู่โหนดที่เชื่อมต่อกัน (i,j) เป็นสมาชิกในตัวแปร *node_pairs* โดยมีเงื่อนไขคือทั้งสองโหนดต้องเป็นโหนดที่ไม่ใช่โหนด และ i ไม่เป็นสมาชิกของตัวแปร *connecting_node* เพื่อเป็นเส้นทางการเชื่อมต่อโหนดไปยังโหนดที่มีการเชื่อมต่อสายเชื่อมมากกว่า 2 เส้น หรือโหนดที่ติดกับโหนด
4. พิจารณาโหนดที่สามารถกำจัดทิ้งได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างกราฟ ซึ่งมีคุณสมบัติคือไม่ใช่โหนดโหนด และมีการเชื่อมต่อโหนดเพียง 2 เส้น โดยสร้างตัวแปร *re_col* เพื่อเก็บคู่โหนดของโหนดที่ไม่ส่งต่อโครงสร้างกราฟและโหนดตัวแทนที่นำมาแทนที่ โดยการค้นหาโหนดตัวแทนตามเส้นทางการเชื่อมต่อของโหนดดังกล่าว ตามคู่โหนดที่เก็บใน *node_pairs* ไปจนถึงโหนดที่มีการเชื่อมต่อสายเชื่อมมากกว่า 2 เส้น หรือโหนดที่อยู่ติดกับโหนด
5. แทนที่โหนดที่ไม่มีผลต่อโครงสร้างกราฟซึ่งถูกเก็บในตัวแปร *re_col* ในกราฟการเชื่อมต่อโหนดจะได้ข้อมูลการเชื่อมต่อกราฟที่ทำความสะอาดแล้ว



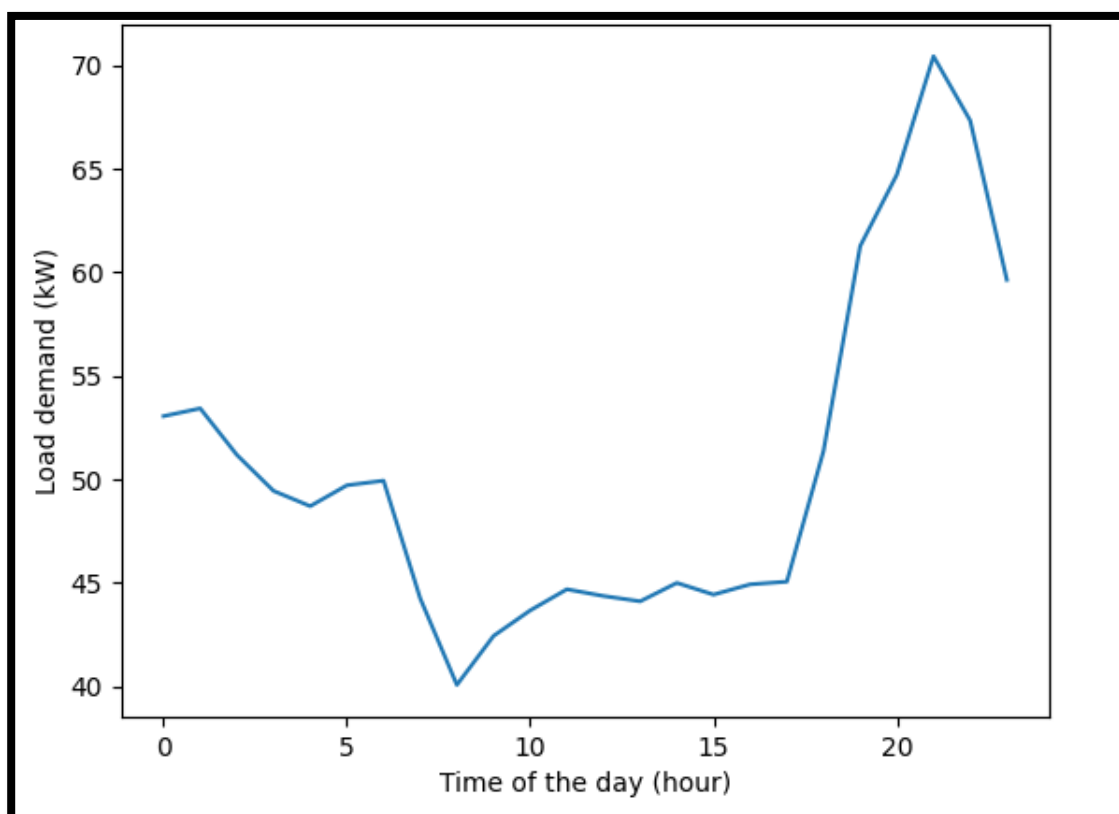
รูปที่ 17 ฟังก์ชันการทำความสะอาดข้อมูล



รูปที่ 18 ตัวอย่างการทำความสะอาดข้อมูลกราฟ

4.1.4 ข้อมูลปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าบนสายป้อน กฟภ.

กฟภ. ได้จัดเก็บข้อมูลปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของหม้อแปลงในแต่ละช่วงเวลาทุก 30 นาทีจำนวน 12 เดือนทั้งหมด 34 หม้อแปลงไฟฟ้า ในรูปที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยของความต้องการโหลดทุกเดือนในแต่ละช่วงเวลาในรอบระยะเวลาชั่วโมง ซึ่งจะพบว่าช่วงโหลดสูงสุดของการใช้ไฟฟ้าของระบบจำหน่ายที่นำมาทดสอบคือช่วงเวลา 21 นาฬิกา



รูปที่ 19 ค่าเฉลี่ยความต้องการโหลดไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 34 ลูกเป็นเวลา 12 เดือนบนสายส่งไฟฟ้าแบบกระจาย

4.2 เกณฑ์หรือฟังก์ชันความเหมาะสมการจัดกลุ่มไมโครกริด

จากการศึกษาบทความวิจัยและรายงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มไมโครกริดพบว่าโรงไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศไทย เป็นโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินซึ่งมีการผลิตกำลังไฟฟ้าแบบคงที่ทุกช่วงเวลา ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ จึงเลือกใช้ตัวประกอบภาระการใช้ไฟฟ้า (load factor) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างค่าความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยเทียบกับค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด เป็นเกณฑ์หรือฟังก์ชันความเหมาะสมในการพิจารณาการจัดกลุ่มไมโครกริด เพื่อให้กลุ่มโหลดที่ได้มีโพร

ไฟล์ภาระ (load profile) คงที่ และเป็นไมโครกริดที่มีพลังงานสุทธิที่ผลิตและอุปโภคร่วมกันใกล้เคียงมากที่สุด เมื่อควมรวมกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ให้พลังงานแบบคงที่ในอนาคต ซึ่งจะทำให้ไมโครกริดสามารถพึ่งพาตนเองเมื่อแยกโดดได้อย่างมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากที่สุด รวมถึงลดความจำเป็นในการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อตอบสนองโหลดสูงสุดในไมโครกริด นอกจากนี้ในด้านความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า ตัวประกอบภาระการใช้ไฟฟ้าเป็นตัวแปรหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงแนวโน้มความน่าเชื่อถือของกริด เนื่องจากตัวประกอบภาระที่มีค่าสูง บ่งบอกถึงการใช้พลังงานของไมโครกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการผลิตไฟฟ้าอย่างคงที่เพื่อตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้า เมื่อค่าตัวประกอบภาระต่ำจะสามารถส่งผลกระทบต่อระบบได้หลายกรณี เช่น การใช้อุปกรณ์เกินขนาด ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้งานอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพต่ำแล้วยังทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่สูง และยังมีความเสี่ยงเนื่องจากอุปกรณ์ไม่ถูกใช้งานที่ค่าที่เหมาะสมและ อาจพบความต้องการโหลดซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรง ซึ่งจะก่อให้เกิดความผันผวนของความถี่ในระบบไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตก

4.3 วิธีการสร้างโครงข่ายทดสอบจากชุดข้อมูล

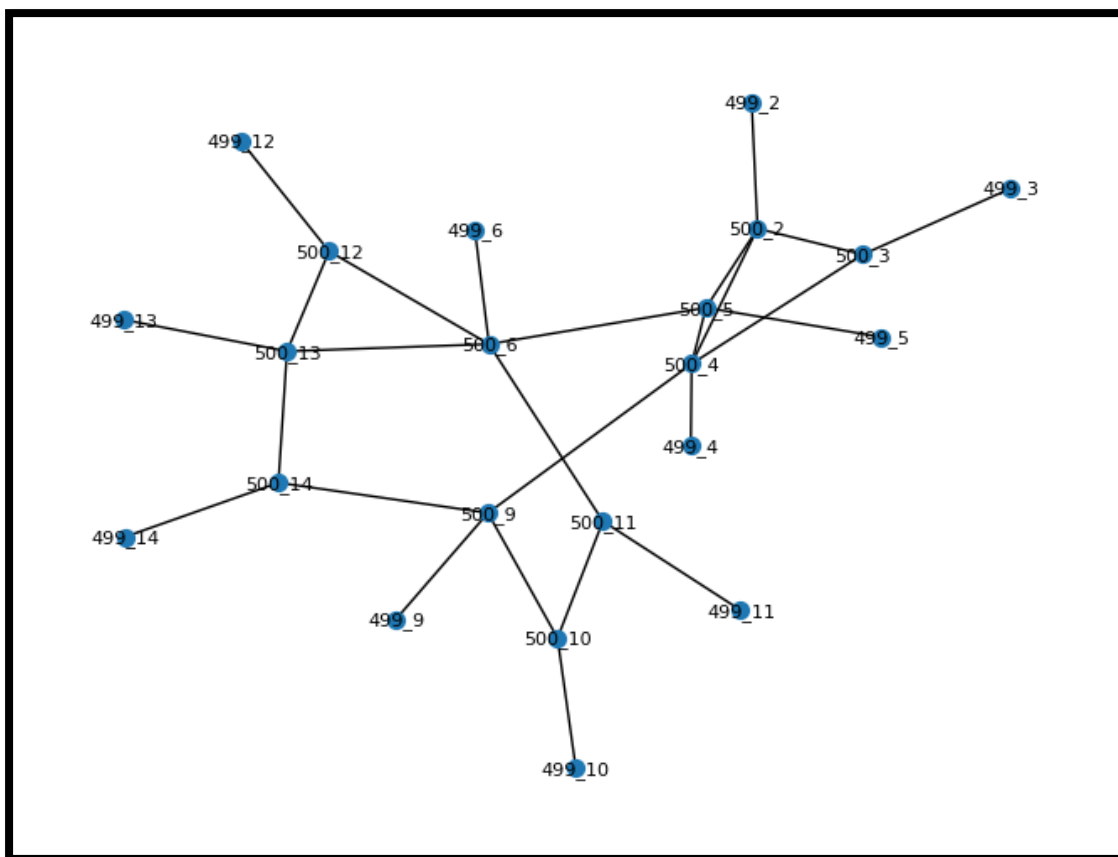
เนื่องจากข้อมูลโพรไฟล์ภาระที่ได้รับจาก กฟภ. มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนโหลดหรือหม้อแปลง รวมถึงรูปแบบโครงสร้างการเชื่อมต่อโหลด มีเพียงแค่แบบเรเดียลเท่านั้น ทำให้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ มีความจำเป็นต้องสร้างระบบทดสอบเองบางส่วน โดยข้อมูลของระบบทดสอบประกอบไปด้วย โครงสร้างการเชื่อมต่อโหลด และความต้องการใช้ไฟฟ้าของแต่ละโหลด สำหรับโครงสร้างการเชื่อมต่อโหลดมีดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างการเชื่อมต่อโหลดของ IEEE-14 bus ดังรูปที่ 20
2. โครงสร้างการเชื่อมต่อโหลดของสายป้อน กฟภ. จำนวน 9 กลุ่ม ดังรูปที่ 26 – 34 ในบทที่ 5.1
3. โครงสร้างการเชื่อมต่อโหลดของสายป้อนแบบวงรอบ A ซึ่งจัดทำขึ้นเอง ดังรูปที่ 35
4. โครงสร้างการเชื่อมต่อโหลดของสายป้อนแบบเครือข่าย B ซึ่งจัดทำขึ้นเอง ดังรูปที่ 36

ข้อมูลเชิงปริมาณของสายป้อนสามารถแสดงดังตารางที่ 3 และ สำหรับค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของแต่ละโหลดที่ไม่มีพื้นฐานข้อมูล กฟภ. จะสุ่มจากกลุ่มข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าของ กฟภ.

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของสายป้อนสำหรับทดสอบ

ชื่อสายป้อนการเชื่อมต่อ	ชนิดสายป้อน	จำนวนโหนดทั้งหมด	จำนวนโหนดที่เป็นโหลด	จำนวนโหนดที่มีการต่อกับสายเชื่อมมากกว่า 2 เส้นและที่ไม่ได้ต่อกับโหลด	จำนวนสายเชื่อมที่ไม่ได้ต่อกับโหนดที่เป็นโหลด
5.1 IEEE 14-Bus system	เครือข่าย	22	11	6	15
5.2 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 0	เรเดียล	16	9	0	6
5.3 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 1	เรเดียล	12	7	0	4
5.4 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 2	เรเดียล	18	10	1	7
5.5 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 3	เรเดียล	14	8	1	5
5.6 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 4	เรเดียล	16	9	1	6
5.7 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 5	เรเดียล	18	11	0	6
5.8 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 6	เรเดียล	16	9	1	6
5.9 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 7	เรเดียล	12	7	0	4
5.10 สายป้อน กฟภ. เบอร์ 8	เรเดียล	14	8	1	5
5.11 สายป้อนแบบวงรอบ A	วงรอบ	14	8	1	5
5.12 สายป้อนแบบเครือข่าย B	เครือข่าย	62	30	6	34



รูปที่ 20 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน IEEE 14-bus

4.4 ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยวิธีการทางพันธุกรรมอย่างง่าย

การจัดกลุ่มด้วยวิธีการทางพันธุกรรมอย่างง่าย จะใช้ขั้นตอนวิธีเหมือนที่กล่าวใน บทที่ 2 ข้อ 2.8 แต่จะเพิ่มขั้นตอนวิธี แก่ไขกลุ่มโหนดที่ไม่มีกลุ่มร่วมให้เป็นกลุ่มเดียวกัน ในขั้นตอนก่อนคิด ฟังก์ชันความเหมาะสม ซึ่งจะแสดงในขั้นตอนที่ 3 ของขั้นตอนวิธีในข้อ 4.5

4.5 ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยวิธีการทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลง

การจัดกลุ่มไมโครกริดคือ การจัดกลุ่มโหลดในระบบไฟฟ้าเป็นกลุ่มเพื่อใช้ในช่วงเวลาที่ระบบไฟฟ้าเกิดข้อผิดพลาดทางไฟฟ้าและต้องแยกโดดออกจากกริดหลัก ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแนวทางการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ การจัดกลุ่มเชิงพื้นที่ตามความหนาแน่นของแอปพลิเคชันที่มีสัญญาณรบกวน (DBSCAN) แบบดัดแปลง บนสายป้อนของ

ระบบไฟฟ้า โดยการจัดกลุ่มจะใช้หลักการ การสมมติตัวตัดวงจรบนสายที่เชื่อมต่อกันระหว่างโหนด เพื่อใช้รวมโหนดต่างๆ หรือจัดกลุ่มเข้าด้วยกัน และทดสอบเปลี่ยนสถานะของตัวตัดวงจรเหล่านั้นด้วย ขั้นตอนวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อหารูปแบบการจัดกลุ่มไมโครกริดที่ดีที่สุด

เนื่องด้วย ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) มีประสิทธิภาพทางเวลาในการ ค้นหาคำตอบหรือจัดกลุ่มแบบสุ่ม ในขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่ายมีการสุ่มซ้ำซ้อนกัน 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสลับสายพันธุ์ และขั้นตอนการกลายพันธุ์ ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง ในขั้นตอนการกลายพันธุ์เพื่อลดการสุ่มที่ซ้ำซ้อน โดยการค่อยๆขยายกลุ่ม ไมโครกริดที่ถูกจัดไว้แล้ว ให้มีโอกาสขยายกลุ่มไมโครกริดตามแนวเส้นเชื่อมของสายป้อน ซึ่งกำหนดค่าระยะห่าง มีค่าเท่ากับจำนวนของฮอปจากจุดอ้างอิง สำหรับขั้นตอนวิธีที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอมีผังการ ดำเนินการขั้นตอนวิธีดังรูปที่ 24 และ มีขั้นตอนวิธีดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการกำหนดตัวแปร

สำหรับตัวอย่างการกำหนดตัวแปรจะแสดงในตารางที่ 4 และ ตัวแปรที่ต้องมีการกำหนดมี ดังต่อไปนี้

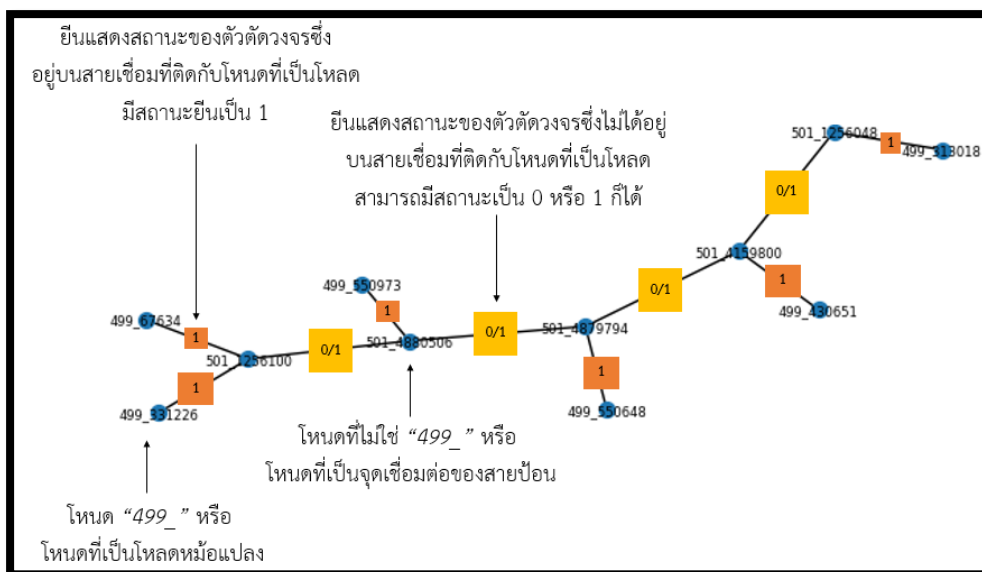
- 1.1 จำนวนรอบของขั้นตอนวิธี คือจำนวนการทวนซ้ำที่ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมทวนซ้ำ เพื่อเพิ่มความน่าจะเป็นให้ขั้นตอนวิธีสามารถหาคำตอบ หรือจัดกลุ่มโครโมโซมได้ดี ตามฟังก์ชันความเหมาะสมมากกว่าหรือเท่ากับการจัดกลุ่มในรอบก่อนๆ
- 1.2 จำนวนโครโมโซมประชากร คือจำนวนกลุ่มที่ขั้นตอนวิธี จัดกลุ่มในแต่ละรอบของ ขั้นตอนวิธี ซึ่งถ้าหากใช้จำนวนโครโมโซมมาก จะทำให้คำตอบที่ได้ในแต่ละรอบของ ขั้นตอนวิธีมีโอกาสเข้าใกล้คำตอบดีที่สุดมากขึ้นไปด้วย
- 1.3 จำนวนประชากรที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอดในขั้นตอนการเลือกพันธุกรรม คือประชากร ที่จะถูกเลือกตามลำดับความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันเหมาะสมเพื่อนำไปสร้าง ประชากรชุดใหม่ต่อไป
- 1.4 โอกาสที่ยีนในโครโมโซมจะเปลี่ยนในขั้นตอนการกลายพันธุ์ คือโอกาสที่ยีนจะ เปลี่ยนลักษณะในขั้นตอนการกลายพันธุ์ซึ่งอาจส่งผลลัพธ์ต่อความเหมาะสมในการ จัดกลุ่มของโครโมโซมซึ่งอาจดีขึ้นหรือแย่ลง

ตารางที่ 4 สัญลักษณ์ คำนิยาม และตัวอย่างการกำหนดค่าของตัวแปรที่ใช้ในขั้นตอนวิธี

สัญลักษณ์	คำนิยาม	ตัวอย่างการกำหนดค่าทดสอบ
G	จำนวนรอบของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม	100 รอบ
N	จำนวนโครโมโซมประชากร	500 โครโมโซม
B	จำนวนประชากรที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอดในขั้นตอนการเลือกพันธุกรรม	100 โครโมโซม
P	โอกาสที่ยีนในโครโมโซมจะเปลี่ยนในขั้นตอนการกลายพันธุ์	10 %

2. ขั้นตอนการเข้ารหัสโครโมโซม

การเข้ารหัสโครโมโซม คือการสร้างชุดโครโมโซมชุดแรก จำนวนเท่ากับจำนวนโครโมโซมประชากรด้วยการสุ่ม ซึ่งแต่ละโครโมโซมประกอบด้วยยีนหรือตัวตดวงจรบนสายเชื่อม ซึ่งมีจำนวนของยีนเท่ากับจำนวนตัวตดวงจรบนสายเชื่อมซึ่งไม่ได้อยู่บนสายเชื่อมที่ติดกับโหนดที่เป็นโหนด โดยสำหรับตัวตดวงจรบนสายเชื่อมที่เชื่อมต่อกับโหนดหม้อแปลง หรือหมายเลขที่ขึ้นต้นด้วย “499_” จะถูกเซตสถานะเป็นเลข 1 หรือ ปิดวงจร หรือ “on” ตัวตดวงจรเสมอเนื่องจาก โหนด “499_” จะเชื่อมต่อกับโหนดที่ไม่ใช่ “499_” เพียงโหนดเดียวเท่านั้นและเงื่อนไขของงานวิทยานิพนธ์นี้คือ โหนดหม้อแปลงทุกโหนดต้องมีกลุ่ม หรือโหนดภายในกลุ่ม แต่ละกลุ่มต้องมีจำนวนโหนดหม้อแปลงอย่างน้อย 2 ลูกขึ้นไปดังนั้นสายเชื่อมที่เชื่อมต่อกับโหนด “499_” จึงไม่สามารถมีสถานะเป็น “off” หรือ เปิดวงจรได้ โดยในรูปที่ 21 แสดงถึงตัวอย่างการเชื่อมต่อตัวตดวงจรในสายป้อน โดยกล่องสี่เหลี่ยมจตุรัสหมายถึงตัวตดวงจร สี่เหลี่ยมหมายถึงตัวตดวงจรที่มีค่าเป็น 1 ได้เท่านั้น เนื่องจากเป็นตัวตดวงจรที่อยู่ติดกับโหนดหม้อแปลง สี่เหลี่ยมหมายถึงตัวตดวงจรที่มีสถานะเป็น 0 หรือ 1 ก็ได้ เนื่องจากเป็นตัวตดวงจรที่ไม่ได้เชื่อมต่ออยู่กับโหนดหม้อแปลง เลข 0 แสดงแทนยีนที่มีลักษณะแทนตัวตดวงจรเปิดวงจร และ หมายเลข 1 แสดงแทนยีนที่มีลักษณะแทนตัวตดวงจรปิดวงจร



รูปที่ 21 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างโหนดและตัวดวงจร และ ตัวอย่างโครโมโซมที่แสดงแทนการเชื่อมต่อระหว่างตัวดวงจรและโหนด

3. ขั้นตอนการจัดกลุ่มโหนดซึ่งเป็นโหนดที่ยังไม่มีกลุ่มภายในโครโมโซม

เนื่องจาก ข้อกำหนดของวิทยานิพนธ์มีการกำหนดให้โหนดทุกโหนดต้องมีกลุ่มหรือ ภายในแต่ละกลุ่มต้องประกอบด้วยจำนวนโหนดที่เป็นหม้อแปลงอย่างน้อย 2 ลูกขึ้นไป ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้จะเพิ่มขั้นตอนการแก้ไขโครโมโซมให้ทุกกลุ่มในโครโมโซมประกอบด้วยโหนดที่เป็นหม้อแปลง จำนวน 2 ลูกขึ้นไปในขั้นตอนที่ 3 ของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมเพื่อแก้ไขโครโมโซมก่อนคิดฟังก์ชันความเหมาะสม โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. สร้างกลุ่มของโหนดหม้อแปลงซึ่งภายในเก็บข้อมูลของโหนดต่างๆ โดยการใช้ข้อมูลโครโมโซมด้วยวิธี การค้นหาเชิงลึก (Depth-first search) โดยการตรวจสอบการเชื่อมต่อของแต่ละโหนดตามกราฟการเชื่อมต่อกันของโหนดบนสายป้อนเพื่อตรวจสอบการจัดกลุ่มของโหนดในโครโมโซม
2. ตรวจสอบแต่ละกลุ่มว่ามีโหนดหม้อแปลงอย่างน้อย 2 ลูกหรือไม่
 - a. ในกรณีที่ไม่มีหม้อแปลงอย่างน้อย 2 ลูกขึ้นไป จะดำเนินการตรวจสอบกลุ่มโหนดอื่นๆต่อไป
 - b. ในกรณีที่ไม่มีหม้อแปลงเพียงลูกเดียว จะดำเนินการสลับเปลี่ยนค่าสถานะสายเชื่อมภายนอกกลุ่มที่มีสถานะ 0 ที่เชื่อมกับกลุ่มอื่นๆ เป็นสถานะ 1 จนโหนดภายในกลุ่มมีการรวมกลุ่มกับกลุ่มอื่นๆ หรือมีสมาชิกที่เป็นหม้อแปลงเพิ่มเป็นอย่างน้อย 2 ลูก

4. ขั้นตอนการคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซม

การคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซม คือการคำนวณความเหมาะสมด้วยฟังก์ชันที่ใช้วัดความเหมาะสมของการจัดกลุ่ม โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ ค่าตัวประกอบภาระการใช้ไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันความเหมาะสม ซึ่งวิธีการคำนวณคือ หาค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มโหลดภายในแต่ละกลุ่มซึ่งถูกกำหนดโดยยีนในโครโมโซม หลังจากนั้นนำค่าตัวประกอบภาระการใช้ไฟฟ้าของแต่ละกลุ่มมาเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของค่าความเหมาะสมของโครโมโซม

5. ขั้นตอนการคัดสรรโครโมโซม

หลังจากขั้นตอนการเข้ารหัสโครโมโซม หรือหลังจากได้รับโครโมโซมที่ถูกคำนวณจากขั้นตอนที่ 4 ในขั้นตอนการคัดสรรโครโมโซมให้อยู่รอด จะคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุดจำนวน B โครโมโซมแรกจากโครโมโซมทั้งหมด N โครโมโซมเพื่อนำไปพิจารณาการสิ้นสุดวิธีทางพันธุกรรม

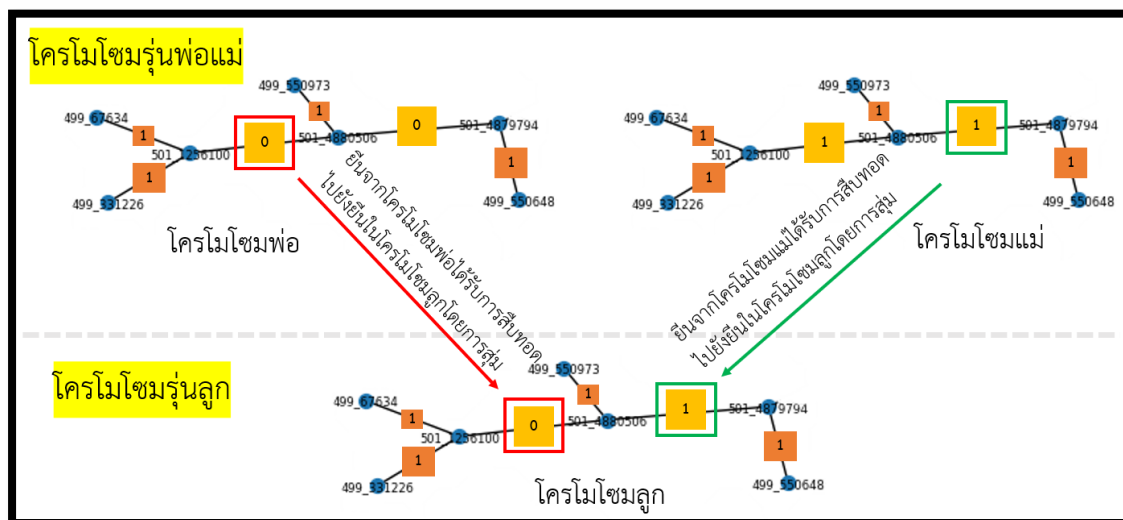
6. ขั้นตอนการพิจารณาการสิ้นสุดขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

เพื่อพิจารณาความจำเป็นในการทำงานวนซ้ำถัดไป ของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง ในขั้นตอนที่ 6 จะพิจารณาโครโมโซม B อันดับแรกตามฟังก์ชันความเหมาะสมว่าเป็นค่าเดียวกันหรือไม่ ถ้าเป็นค่าเดียวกันให้หยุดการทำงาน ในกรณีที่ขั้นตอนทางพันธุกรรมทำงานครบ G รอบ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะหยุดทำงานเช่นกัน แต่ถ้าไม่เข้าเงื่อนไขข้างต้นใดๆ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะดำเนินการทำงานต่อไป

7. ขั้นตอนการสลับสายพันธุ์ระหว่างโครโมโซม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการประยุกต์ใช้การสลับสายพันธุ์แบบ “ k -point” ซึ่งคือการสลับสายพันธุ์หลายตำแหน่งของยีนภายในโครโมโซม โดยการสุ่มเลือกยีนตามตำแหน่งของโครโมโซมพ่อหรือแม่เพื่อนำมาสร้างโครโมโซมใหม่ สำหรับโครโมโซมพ่อหรือแม่จำนวน 2 โครโมโซมจะถูกสุ่มมาจากโครโมโซมที่ถูกคัดสรรในขั้นตอนที่ 5 และจะสุ่มเลือกยีนตามตำแหน่งจากทั้งสองโครโมโซม เพื่อนำมาสร้างโครโมโซมใหม่จำนวน N โครโมโซม ดังตัวอย่างในรูปที่ 22 โครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ สลับสายพันธุ์ก่อให้เกิดโครโมโซมลูก โดยยีน สีเหลืองทางฝั่ง

ซ้าย ได้รับสืบทอดมาจากโครโมโซมพ่อ และยีนสีเหลืองฝั่งขวา ได้รับมาจากโครโมโซมแม่ ส่วนยีนลำดับอื่นๆ ได้รับมาจากโครโมโซมพ่อ หรือ แม่ก็ได้

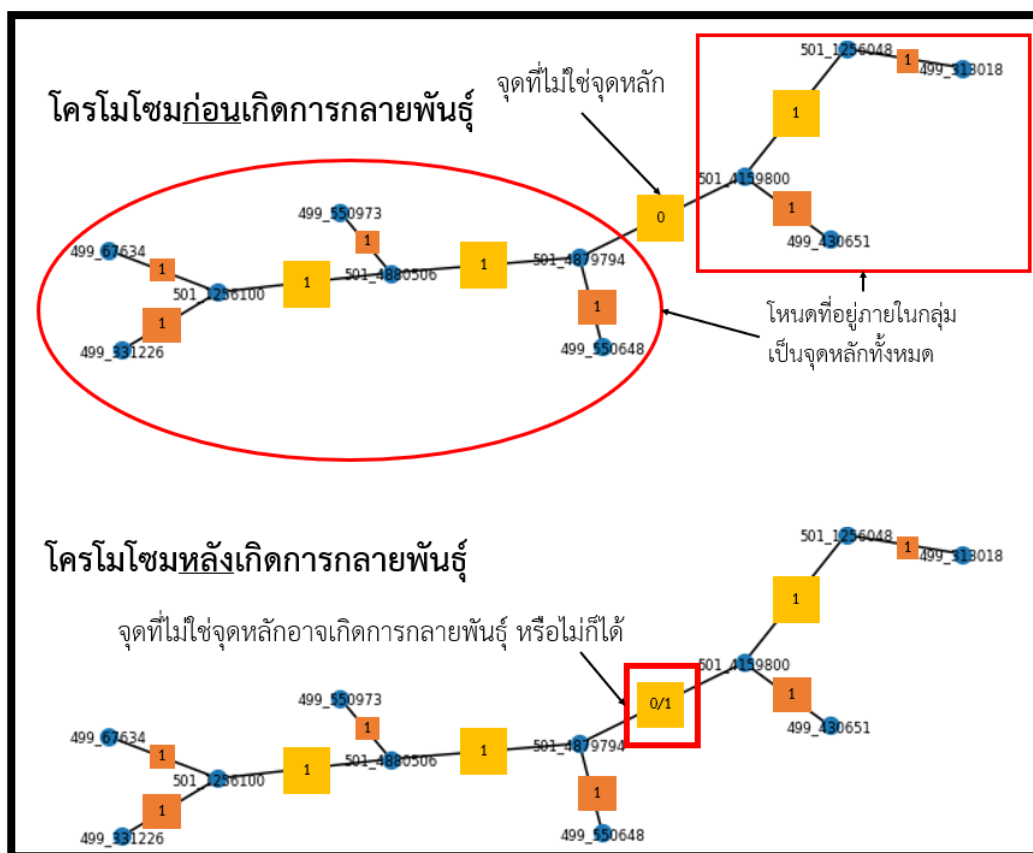


รูปที่ 22 ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์ระหว่างโครโมโซมพ่อ และ แม่

8. ขั้นตอนการกลายพันธุ์

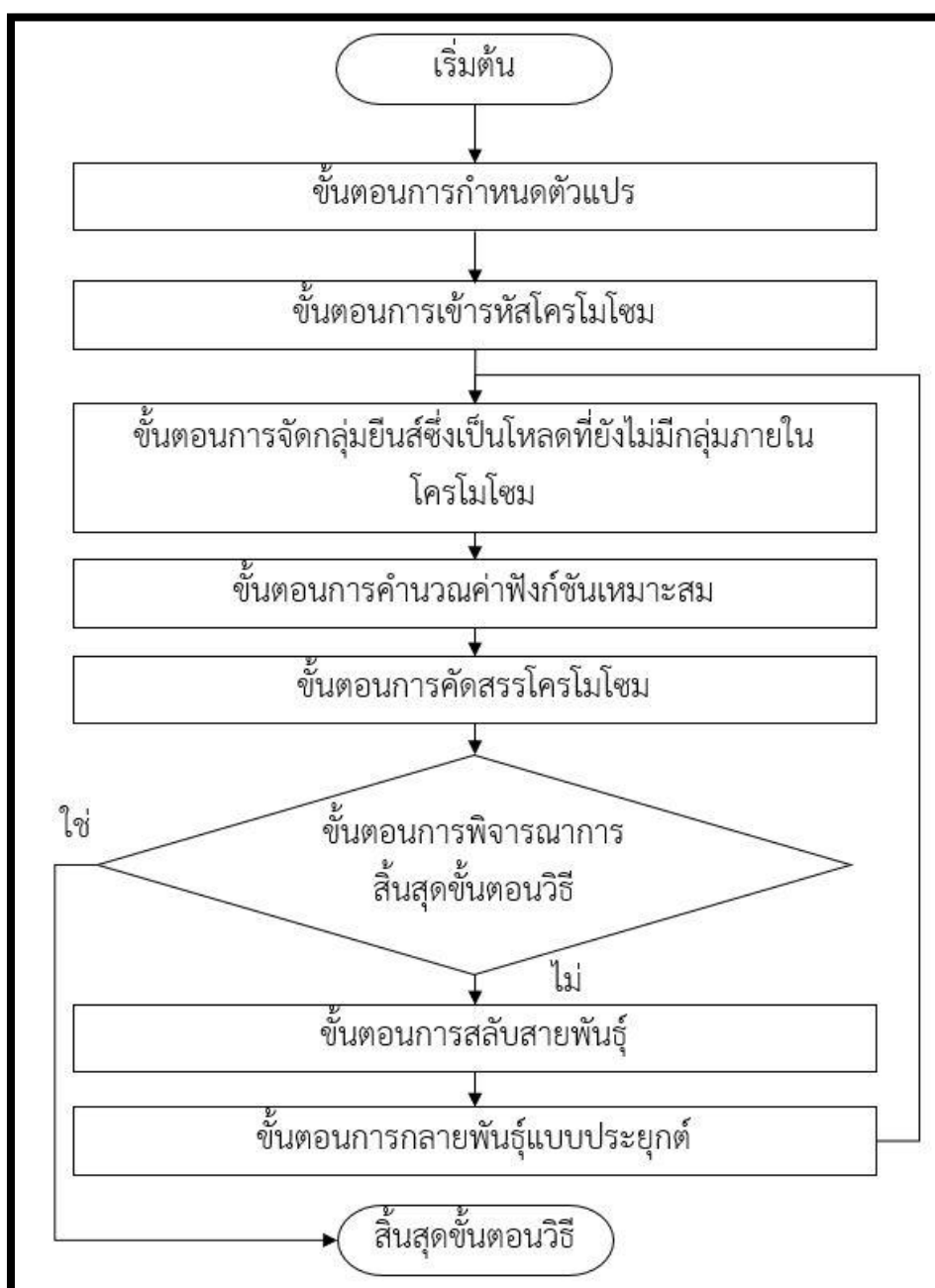
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลงเข้ากับขั้นตอนการกลายพันธุ์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้กับการจัดกลุ่มในสายป้อนได้ ขั้นตอนวิธีแบบประยุกต์นี้นำมาใช้แทนวิธีการสุ่มในขั้นตอนการกลายพันธุ์ของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย ซึ่งมีข้อได้เปรียบคือ โครโมโซมยังสามารถคงรักษากลุ่มยีนภายในโครโมโซมที่อาจมีความเหมาะสมสูงไว้ได้ เนื่องจากวิธีการดังกล่าว สุ่มเปลี่ยนยีนที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มยีนเดียวกันภายในโครโมโซมให้กลายเป็นกลุ่มยีนเดียวกัน โดยมีหลักการ การกลายพันธุ์ของยีนดังต่อไปนี้

1. กำหนดยีนกลุ่มใดๆที่ได้รับการจัดกลุ่มแล้วเป็นจุดหลัก และกำหนดตัวตัดวงจรอื่นๆเป็นจุดที่ไม่ใช่จุดหลัก
2. กลายพันธุ์ตัวตัดวงจรที่ไม่ใช่จุดหลักซึ่งอยู่ติดกับจุดหลัก และมีสถานะเปิดวงจร ให้เปลี่ยนสถานะจากเปิดวงจร (0) เป็นปิดวงจร (1) ด้วยความน่าจะเป็น P เพื่อรวมกลุ่มตัวตัดวงจรเข้าด้วยกัน



รูปที่ 23 ตัวอย่างการกลายพันธุ์ของโครโมโซมตัวอย่าง

ตัวอย่างการกลายพันธุ์แสดงดังรูปที่ 23 โครโมโซมตัวอย่าง ประกอบด้วยยีนจำนวน 10 ยีน สำหรับโครโมโซมก่อนเกิดการกลายพันธุ์จะสามารถพิจารณาได้ว่า ยีนภายในกลุ่มวงกลมสีแดงด้านซ้าย เป็นยีนที่เป็นจุดหลักทั้งหมด เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีการจัดกลุ่มแล้ว และ ยีนภายในกลุ่มสี่เหลี่ยมสีแดงด้านขวา เป็นยีนที่เป็นจุดหลักทั้งหมดเช่นกัน สำหรับยีนที่อยู่ระหว่างวงกลมสีแดงและสี่เหลี่ยมสีแดงถูกพิจารณาเป็นจุดที่ไม่ใช่จุดหลัก เมื่อมีการกลายพันธุ์ ยีนที่ไม่ใช่จุดหลักจะถูกสุ่มด้วยความน่าจะเป็น P เพื่อตัดสินใจสถานะการกลายพันธุ์เป็นยีนสถานะ 1 หลังจากที่ได้โครโมโซมที่กลายพันธุ์แล้ว ให้ดำเนินการวนซ้ำต่อในขั้นตอนที่ 3 ต่อไป



รูปที่ 24 ผังการดำเนินการจัดกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบ
ประยุกต์

4.6 ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องภายในคลังโปรแกรม Scikit-learn

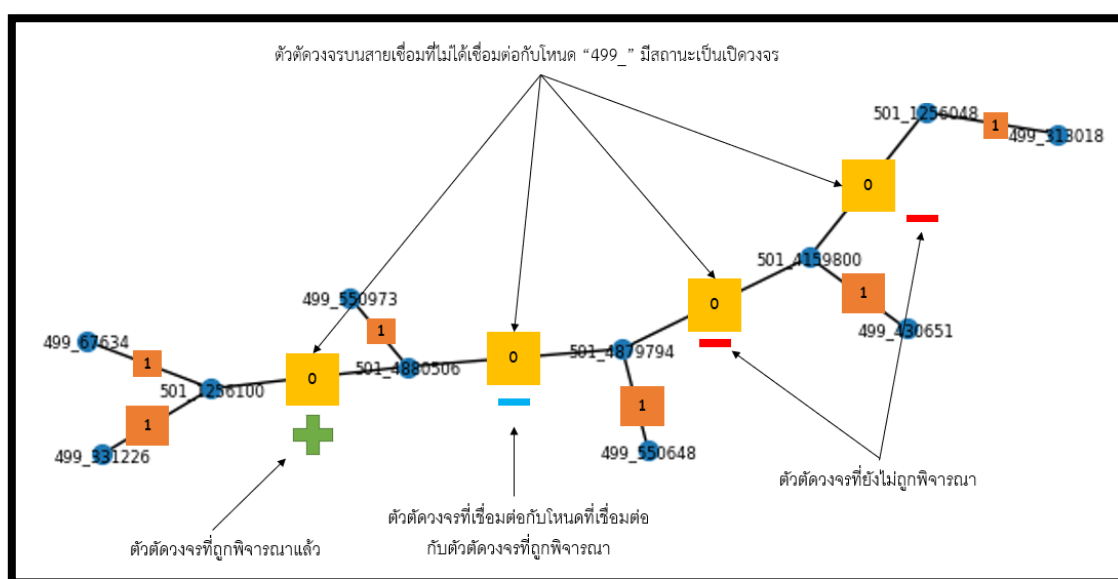
ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องภายในคลังโปรแกรม Scikit-learn มี 4 ประเภทได้แก่ การจัดกลุ่มตามส่วน การจัดกลุ่มตามความหนาแน่น การจัดกลุ่มตามลำดับชั้น และการจัดกลุ่มตามความเหมือนด้วยเมตริกซ์ สำหรับขั้นตอนวิธีอื่นๆนอกเหนือจากการจัดกลุ่มตามสเปกตรัม (Spectral clustering) และการจัดกลุ่มแบบลำดับชั้น (Hierarchical Clustering) มีสมมติฐานคือ โหนดของข้อมูลอยู่บนปริภูมิแบบยูคลิด แต่ข้อมูลกราฟนั้นพิจารณาโครงสร้างกราฟระหว่างโหนดซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่เหนือกว่าตำแหน่งบนปริภูมิยูคลิด อย่างไรก็ตามการจัดกลุ่มตามสเปกตรัมเป็นการจัดกลุ่มที่ก่อให้เกิดกลุ่มที่มีความไม่เหมาะสมตามโครงสร้างกราฟคือ สองโหนดที่ไม่เชื่อมต่อกันตามโครงสร้างกราฟกลับสามารถอยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยปราศจากโหนดอื่นๆได้ ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะทดสอบขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มตามความหนาแน่นแบบ DBSCAN แบบดัดแปลง และการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอดซึ่งเป็นการจัดกลุ่มตามโครงสร้างกราฟ ให้สามารถจัดกลุ่มตามโครงสร้างกราฟได้

4.6.1 การจัดกลุ่มตามความหนาแน่นแบบ DBSCAN แบบดัดแปลง

การจัดกลุ่มตามความหนาแน่นเป็นการจัดกลุ่มตามรูปร่าง และไม่อ่อนไหวต่อส่วนของกราฟที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งไม่สามารถนำมาจัดกลุ่มตามการเชื่อมต่อกราฟได้ จึงต้องดัดแปลงขั้นตอนวิธี DBSCAN ให้เหมาะสมกับการจัดกลุ่มไมโครกริดบนสายป้อนตามการเชื่อมต่อกราฟดังต่อไปนี้

1. กำหนดสถานะของตัวตัดวงจรบนสายเชื่อมที่ต่ออยู่กับโหนด 499 ทั้งหมดเป็นปิดวงจร หรือ 1 และตัวตัดวงจรอื่นๆเป็นเปิดวงจรหรือ 0 เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นของขั้นตอนวิธี
2. สุ่มเลือกสายเชื่อม 1 เส้น ซึ่งเป็นตัวตัดวงจรบนสายเชื่อมที่อยู่ในฐานข้อมูลที่ยังไม่ได้ถูกพิจารณาและมีสถานะเป็น 0 เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของการสุ่มเปลี่ยนสถานะตัวตัดวงจรตามเส้นเชื่อมกราฟเพื่อทดสอบค่าตัวประกอบภาระของกลุ่ม
3. ทดสอบเปลี่ยนสถานะตัวตัดวงจรบนสายเชื่อมที่ถูกเลือกในขั้นตอนที่ 2 จาก 0 เป็น 1 เพื่อพิจารณาค่าตัวประกอบภาระของกลุ่ม และนำสายเชื่อมออกจากฐานข้อมูลตัวตัดวงจรที่ยังไม่ได้ถูกพิจารณา ดังเช่นตัวอย่างในรูปที่ 25
 - a. กรณีที่ค่าตัวประกอบภาระของทุกกลุ่มโดยเฉลี่ย มีค่าเท่าเดิม หรือเพิ่มขึ้นให้ดำเนินการต่อไปในขั้นตอนที่ 4

- b. กรณีที่ค่าตัวประกอบภาวะของทุกกลุ่มโดยเฉลี่ย ลดลงให้หยุดขั้นตอนวิธีและเปลี่ยนสถานะของสายเชื่อมกลับ แล้ววนซ้ำขั้นตอนที่ 3
4. สุ่มเลือกเส้นเชื่อมที่อยู่ติดกับโหนดปลายของเส้นเชื่อมที่ถูกเลือก โดยการสุ่มเหมือนในขั้นตอนที่ 2 แล้วพิจารณาการเปลี่ยนสถานะตัวตัดวงจรเหมือนขั้นตอนที่ 3 และทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งเข้าเงื่อนไข b. ในขั้นตอนที่ 3 แล้วดำเนินการขั้นตอนที่ 2 ต่อจนตัดวงจรบนสายเชื่อมในฐานข้อมูลถูกพิจารณาทั้งหมด



รูปที่ 25 ตัวอย่างองค์ประกอบของขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง

4.6.2 การจัดกลุ่มตามลำดับขั้นแบบรวบยอด

การจัดกลุ่มตามลำดับขั้นแบบรวบยอด เป็นการจัดกลุ่มตามลำดับขั้นตามโครงสร้างต้นไม้ตามระยะทาง สำหรับวิธีมีการใช้งานขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มตามลำดับขั้นแบบรวบยอดในฐานข้อมูล *Scikit-learn* มีดังต่อไปนี้

- 1 สร้างเมตริกซ์ระยะประชิดเป็นข้อมูลขาเข้าของฟังก์ชัน
- 2 วนซ้ำเพื่อสร้างกลุ่มของการผสมผสานตัวแปร 4 ตัวแปรทั้งหมดที่เป็นไปได้ในขั้นตอนวิธี โดยแต่ละตัวแปรจะใช้ค่าดังต่อไปนี้

- 3 *n_clusters* คือจำนวนกลุ่มที่ต้องการ จะใช้ค่าตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนกลุ่มโหนดที่เป็นโหนดทั้งหมดหารด้วย 2 และปัดลง เนื่องจากเป็นจำนวนกลุ่มโหนดที่มากที่สุดที่จะจัดกลุ่มได้ และเข้าเงื่อนไขโหนดทุกโหนดต้องมีกลุ่ม
- *linkage* คือเกณฑ์ที่ใช้หาระยะทาง จะใช้ค่า *ward complete average* และ *single*
 - *metric* คือหน่วยวัดความสัมพันธ์จะใช้ค่า *precomputed* เนื่องจากข้อมูลเข้าเป็นเมตริกซ์ระยะประชิดซึ่งมีการคำนวณระยะห่างของแต่ละโหนดมาแล้ว
 - *connectivity* คือเมตริกซ์ที่แสดงการเชื่อมต่อของโหนดที่สนใจและโหนดอื่นๆ
- 4 ทดสอบกรณีทั้งหมดด้วยฟังก์ชันการจัดกลุ่ม *Agglomerative_clustering* ในคลังโปรแกรม *Scikit-learn*

บทที่ 5

ผลการทดสอบ แนวทางการใช้งานขั้นตอนวิธี และการวิเคราะห์ผลลัพธ์

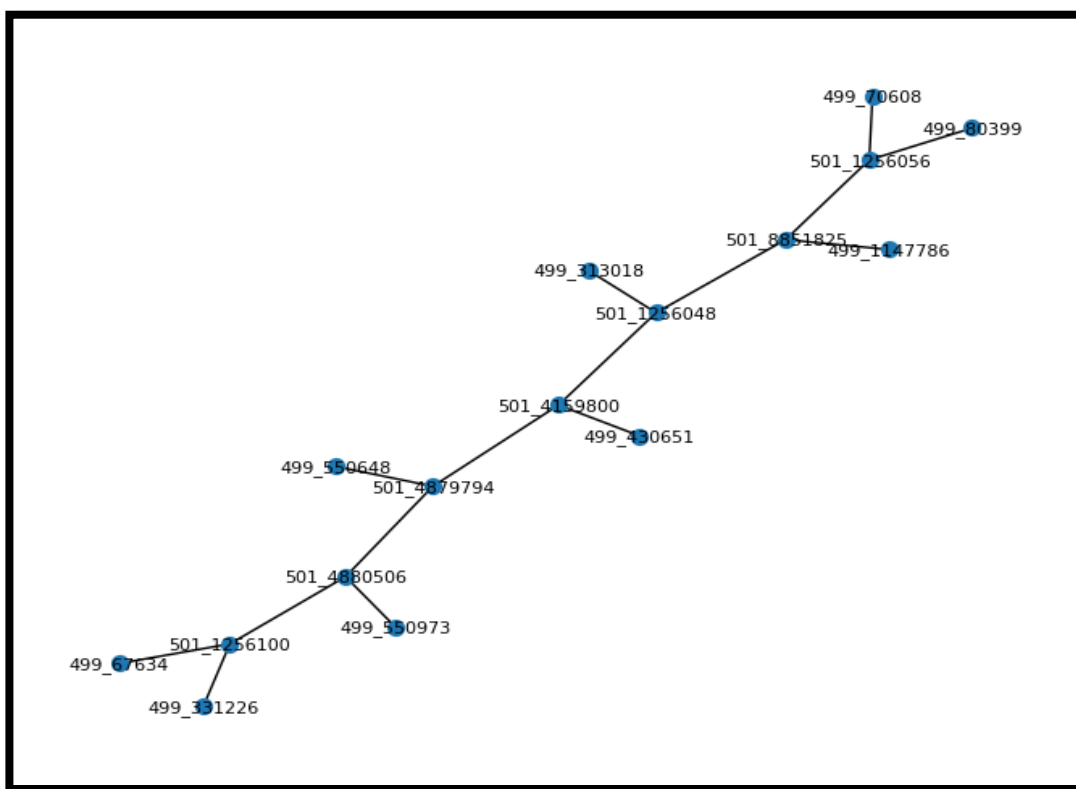
ในงานวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทดสอบการจัดกลุ่มไมโครกริดด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง กับสายป้อน IEEE-14 bus ที่มีโครงสร้างแบบระบบเครือข่าย เพื่อค้นหารูปแบบการจัดกลุ่มที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม โดยมีการทดสอบเปลี่ยน จำนวนโครโมโซมของประชากร จำนวนประชากรที่ถูกคัดสรร และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสีย และความเหมาะสมในการเลือกใช้ค่าตัวแปรต่างๆ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีจะมีการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ของขั้นตอนวิธีทั้งหมด 2 ปัจจัย ซึ่งจะเปรียบเทียบกับ ขั้นตอนวิธีแบบแรง (brute force) ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบอย่างง่าย การจัดกลุ่มตามความหนาแน่น DBSCAN แบบดัดแปลง และการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรบบยอด ดังต่อไปนี้

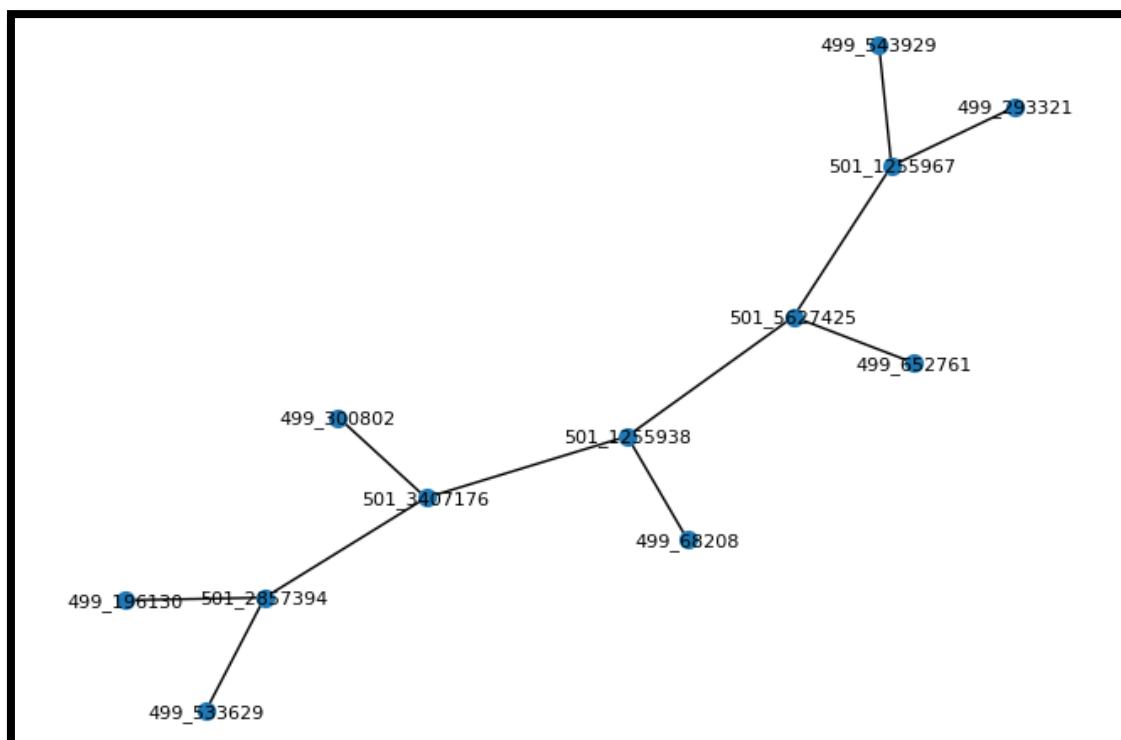
1. คุณภาพของคำตอบ คือการเปรียบเทียบค่าความเหมาะสม (fitness value) หรือค่าตัวประกอบโหลดภาระเฉลี่ย (average load factor) ของการจัดกลุ่มจากขั้นตอนวิธีที่นำมาทดสอบเทียบค่าความเหมาะสมของการจัดกลุ่มที่ดีที่สุด
2. คุณภาพเชิงเวลา

5.1 โครงสร้างสายป้อนไฟฟ้าอื่นๆที่นำมาทดสอบ

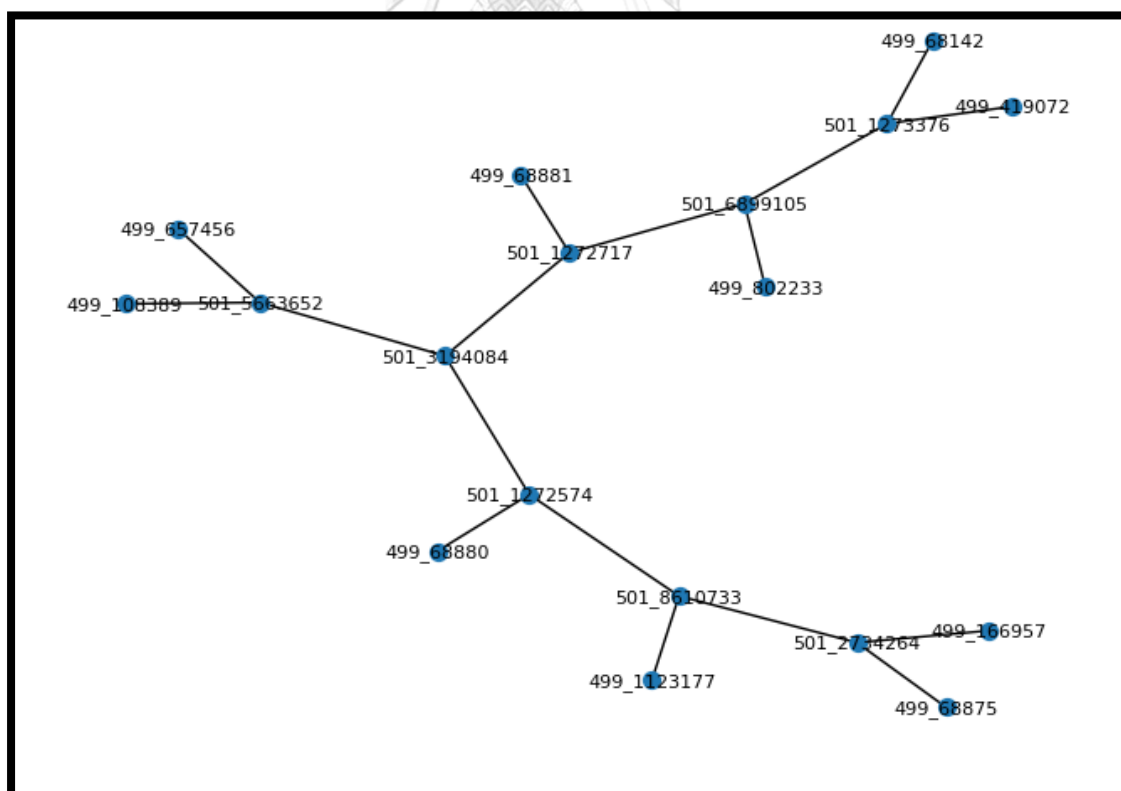
นอกจาก โครงสร้าง IEEE-14 bus ยังมี โครงข่ายสายป้อนอื่นๆที่นำมาทดสอบดังต่อไปนี้



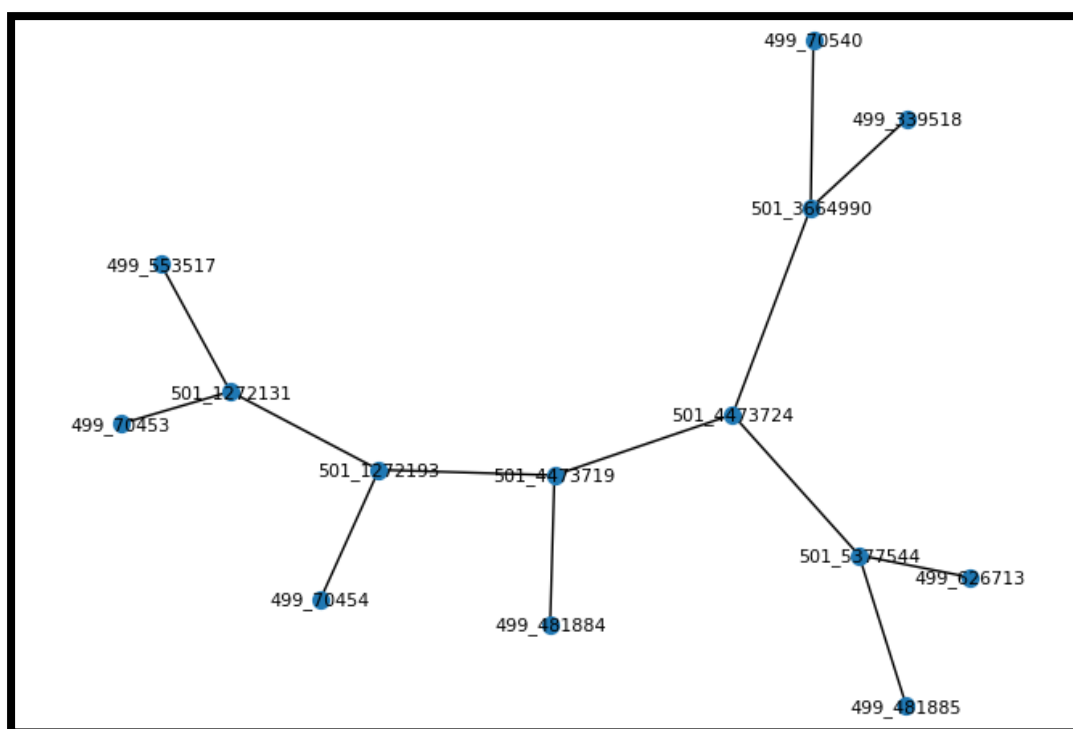
รูปที่ 26 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 0



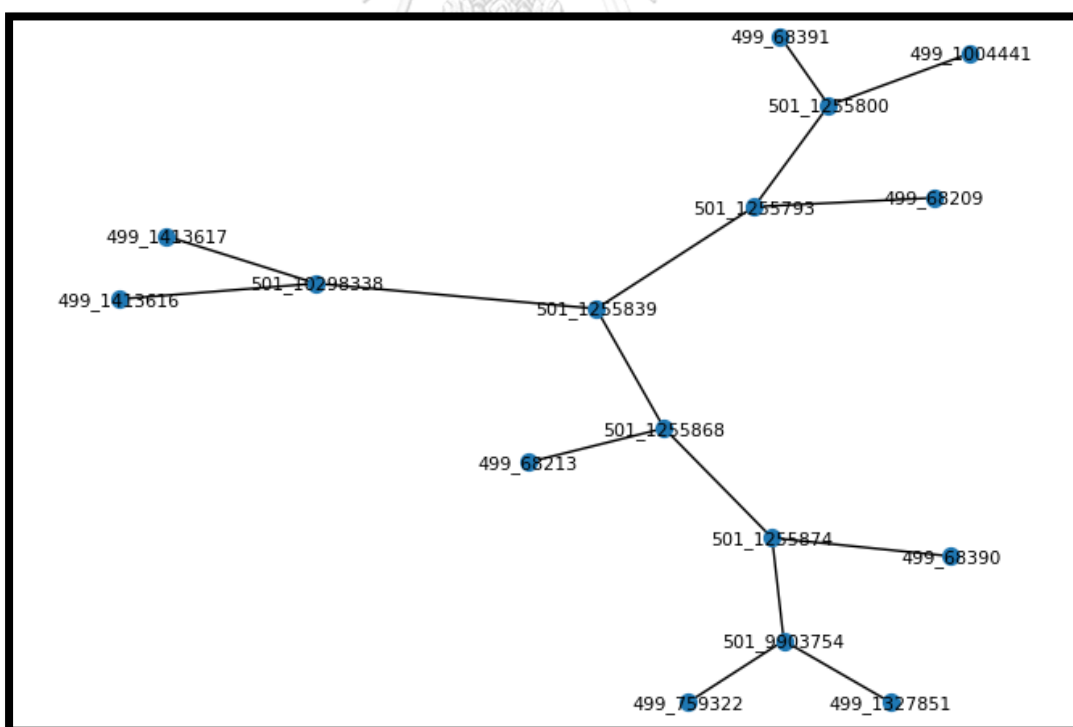
รูปที่ 27 การเชื่อมต่อโหนดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 1



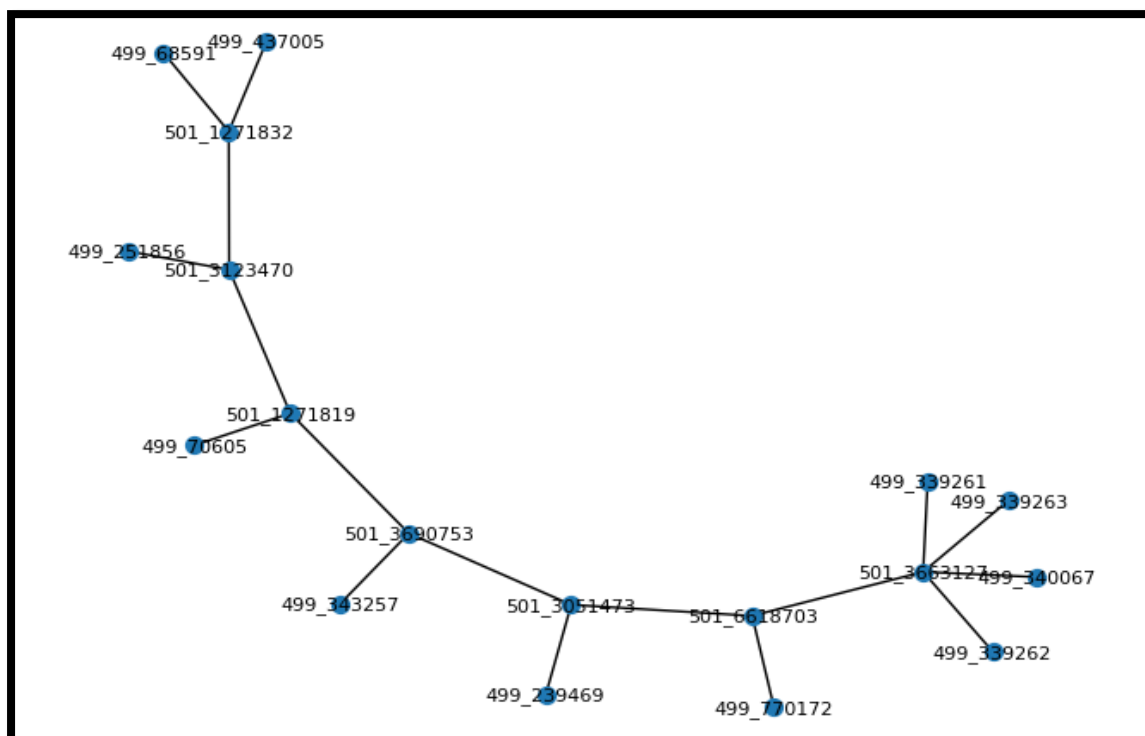
รูปที่ 28 การเชื่อมต่อโหนดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 2



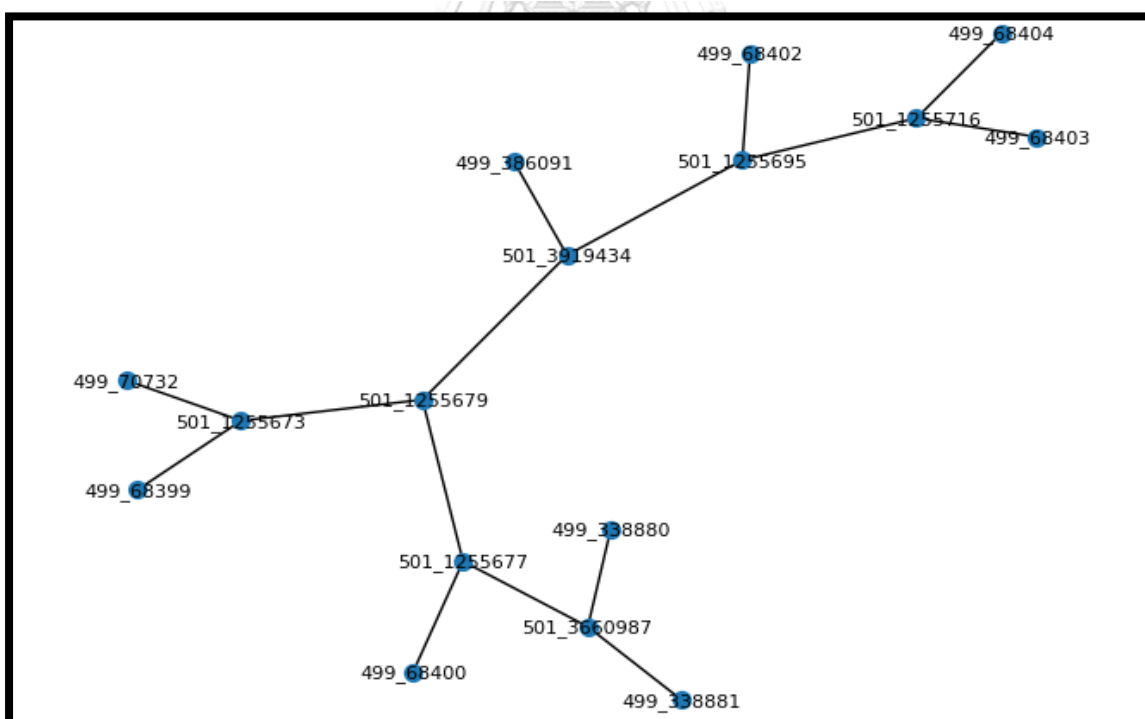
รูปที่ 29 การเชื่อมต่อโหนดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 3



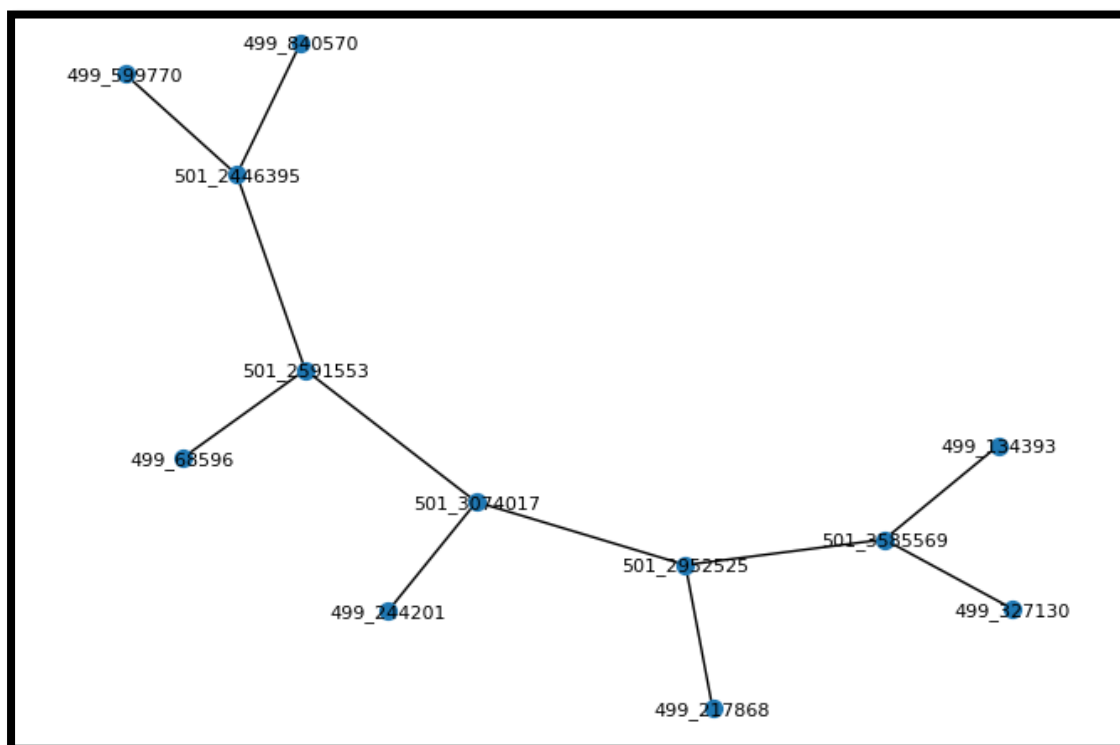
รูปที่ 30 การเชื่อมต่อโหนดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 4



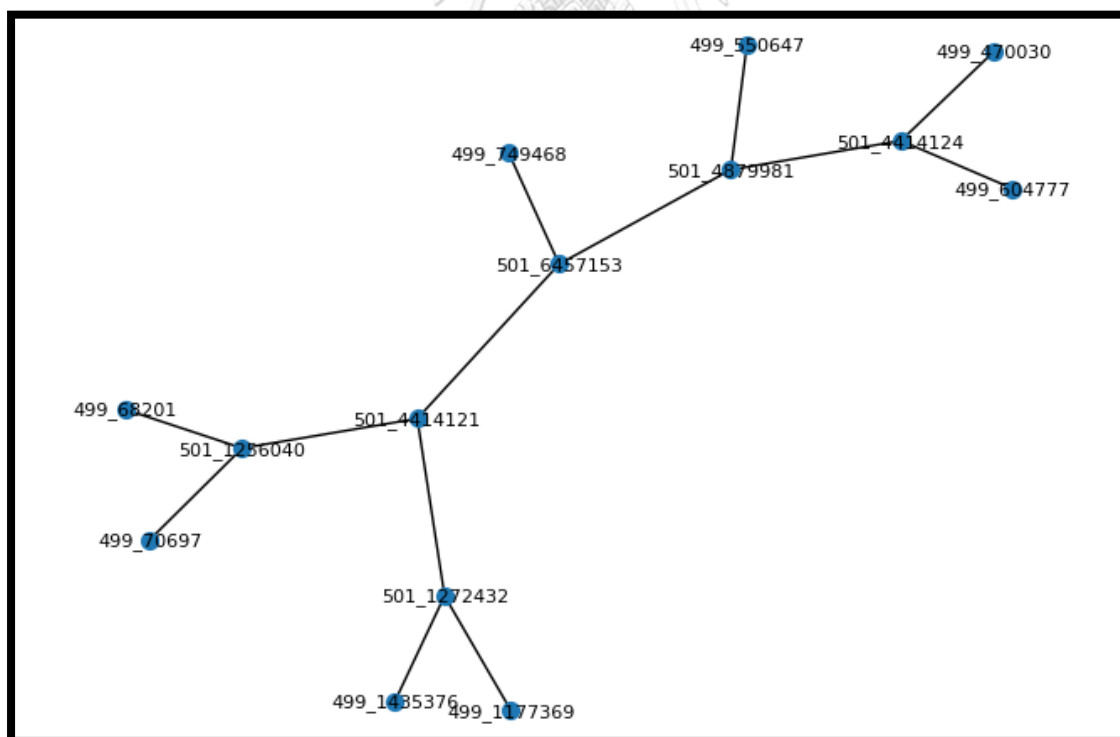
รูปที่ 31 การเชื่อมต่อโหนดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 5



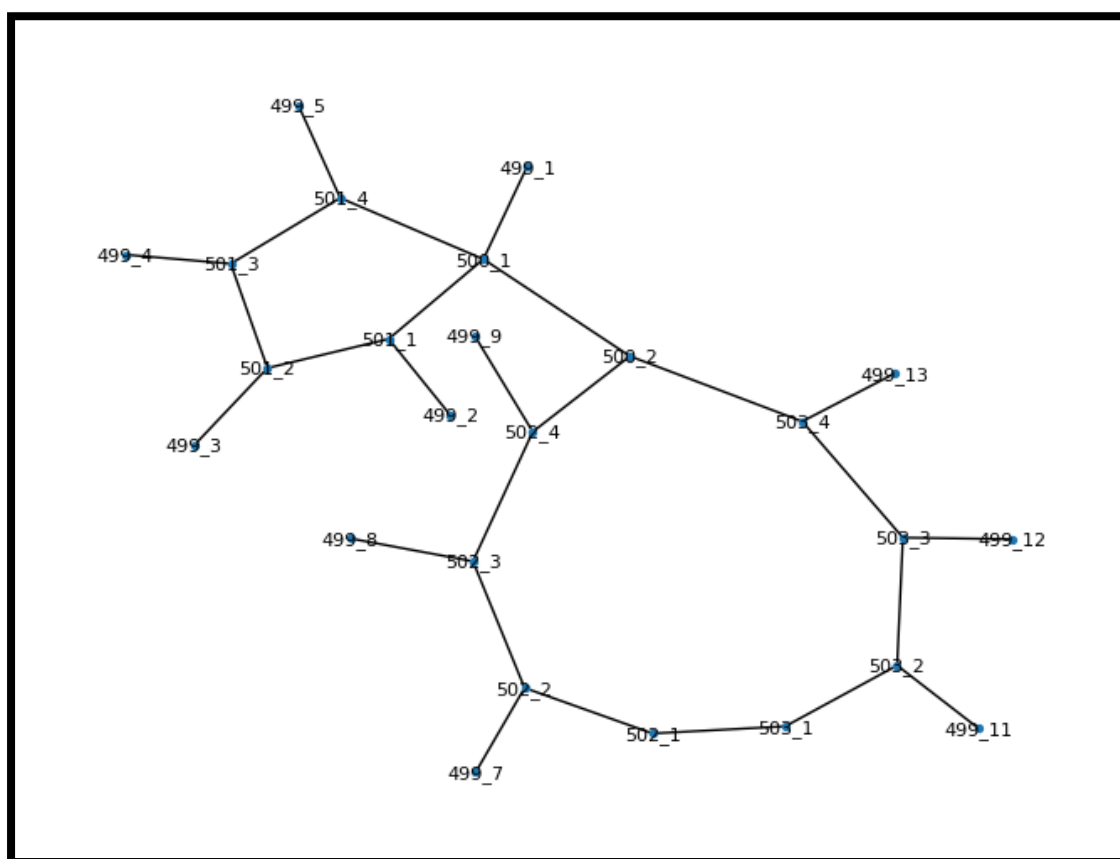
รูปที่ 32 การเชื่อมต่อโหนดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 6



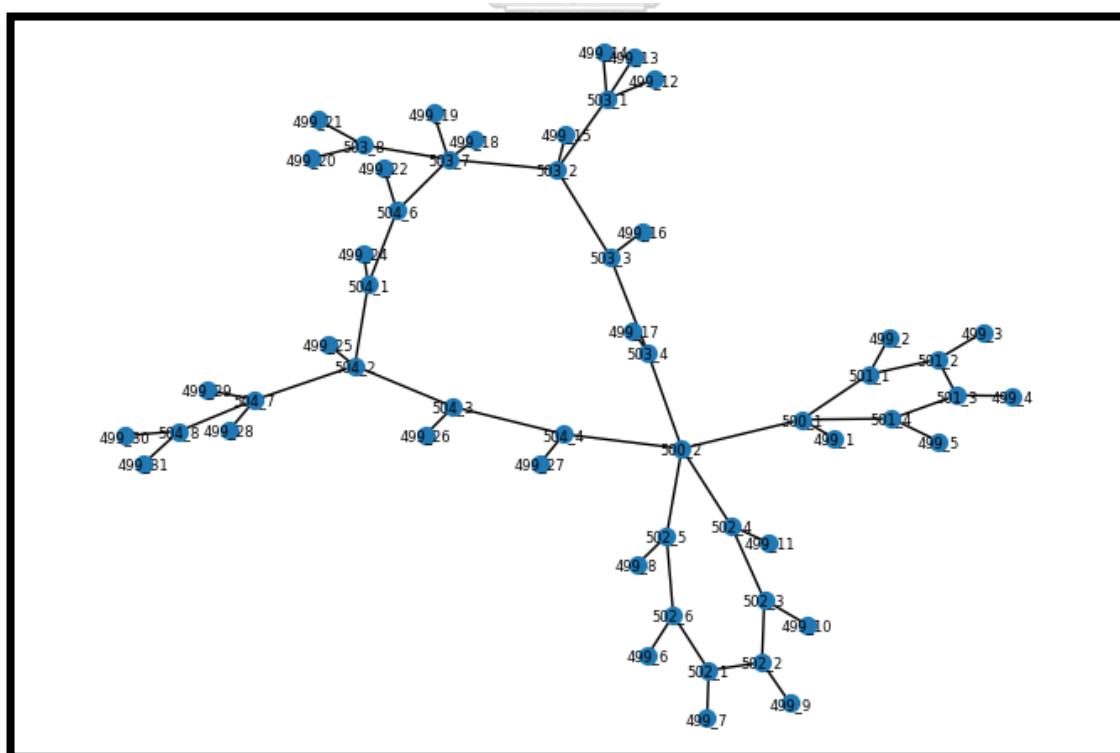
รูปที่ 33 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 7



รูปที่ 34 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อน กฟภ. กลุ่มเบอร์ 8



รูปที่ 35 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อนแบบวงรอบ A



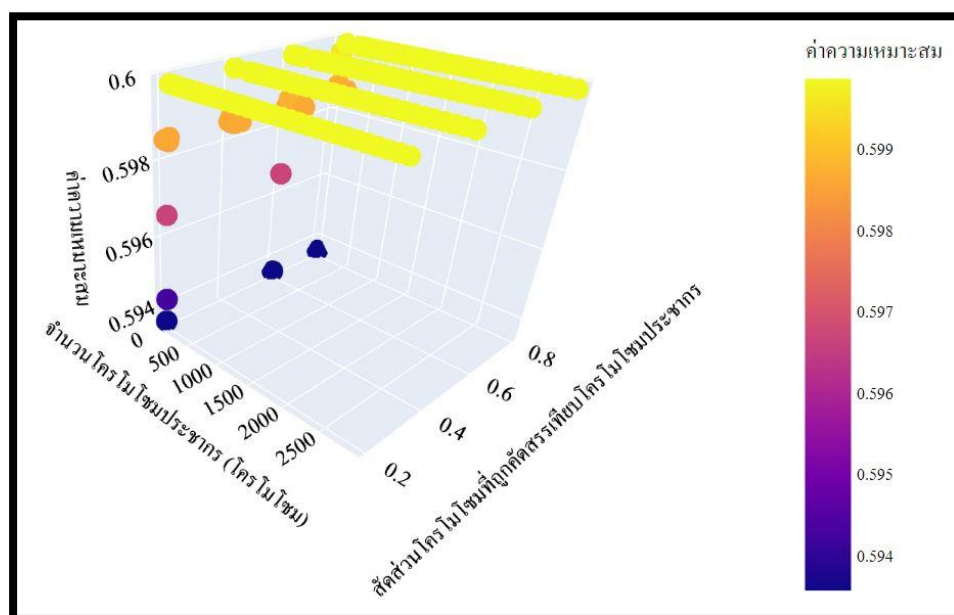
รูปที่ 36 การเชื่อมต่อโหลดบนสายป้อนแบบเครือข่าย B

5.2 การทดสอบและวิเคราะห์ผลลัพธ์

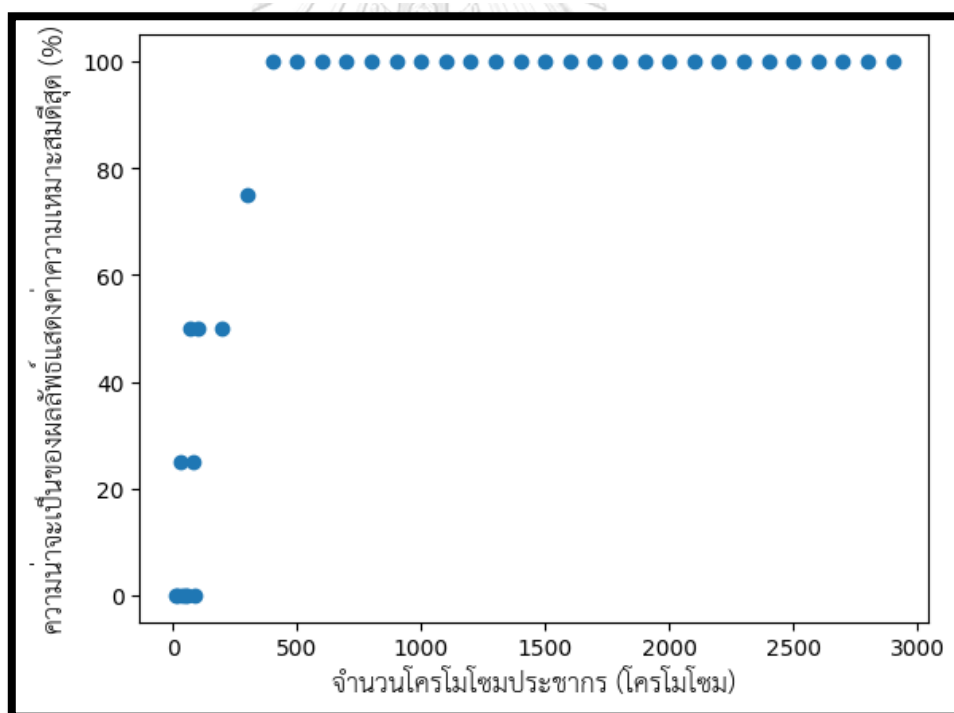
ทดสอบปรับค่าตัวแปร จำนวนโครโมโซมประชากร ซึ่งมีข้อมูลตั้งแต่ 10 ถึง 100 เพิ่มตามลำดับขั้นทีละ 10 เพื่อทดสอบความสำคัญของจำนวนโครโมโซมที่ส่งผลต่อคุณภาพคำตอบเมื่อโครโมโซมมีจำนวนน้อยกว่า 100 และ 100 ถึง 2900 เพิ่มตามลำดับขั้นทีละ 100 เพื่อทดสอบผลลัพธ์ให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของการใช้ทรัพยากรเวลาเมื่อจำนวนโครโมโซมมีมากขึ้น ซึ่งจะใช้ควบคู่กับสัดส่วนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากร โดยกำหนดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนโครโมโซมประชากรรวม คือ 20% 40% 60% และ 80% ความน่าจะเป็นการกลายพันธุ์ 0.1 ถึง 1 เพิ่มตามลำดับขั้นทีละ 0.1 และ 0.01 ถึง 0.1 เพิ่มตามลำดับขั้นทีละ 0.01 เพื่อทดสอบค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ที่จะให้ค่าความน่าจะเป็นของคุณภาพคำตอบดีสุดสูงสุด ทำซ้ำอย่างละ 10 ครั้ง เพื่อเฉลี่ยผลลัพธ์ที่ได้และใช้ในการตรวจสอบ คุณภาพของคำตอบ เวลา อันเนื่องมาจากค่าตัวแปรข้างต้นซึ่งบ่งบอกถึงวิธีการระบุค่าตัวแปรเพื่อใช้ในการจัดกลุ่มไมโครกริด

5.2.1 การวิเคราะห์เชิงค่าความเหมาะสม

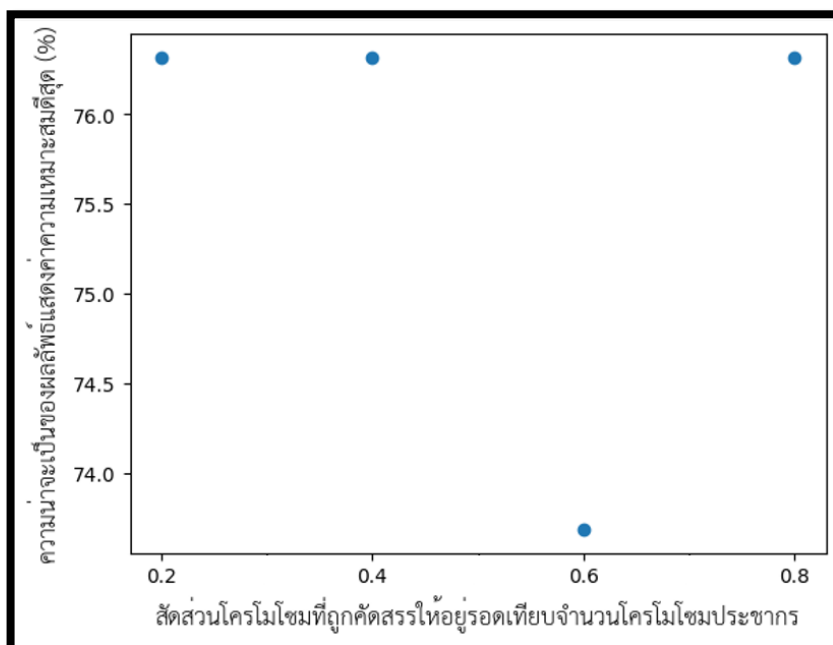
กราฟในรูปที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเหมาะสม จำนวนโครโมโซมประชากรรวม และสัดส่วนจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากร สามารถสังเกตได้ว่า เมื่อจำนวนโครโมโซมประชากรมีค่าน้อยๆจะมีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยต่ำกว่า (จุดสีเข้ม เช่น สีน้ำเงิน) และค่าความเหมาะสมเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนโครโมโซมประชากรจนคงที่ (จุดสีเหลือง) แม้ว่าจำนวนโครโมโซมประชากรจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเหมาะสมการจัดกลุ่มที่ได้เป็นการจัดกลุ่มที่ดีที่สุด ซึ่งจากกราฟรูปที่ 38 พบว่าเมื่อจำนวนโครโมโซมประชากรมีจำนวนน้อยกว่า 300 จะส่งผลให้ขั้นตอนวิธีมีโอกาสที่จะให้ผลลัพธ์การจัดกลุ่มที่ไม่เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด อันเนื่องมาจากมีปริมาณการค้นหาที่น้อยกว่า



รูปที่ 37 ค่าความเหมาะสมเทียบจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอด และจำนวนโครโมโซมประชากร



รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโครโมโซมประชากร และความน่าจะเป็นของผลลัพธ์แสดงค่าความเหมาะสมที่สุด



รูปที่ 39 สัดส่วนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอดเทียบจำนวนโครโมโซม และ ความน่าจะเป็นของผลลัพธ์แสดงค่าความเหมาะสมที่สุด

จากการสังเกตกราฟรูปที่ 39 พบว่าสัดส่วนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบจำนวนโครโมโซมประชากร อาจมีความเกี่ยวข้องกับผลลัพธ์คุณภาพของคำตอบน้อยกว่าจำนวนโครโมโซมประชากร เนื่องจาก ไม่ว่าสัดส่วนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอดเทียบจำนวนโครโมโซมประชากรมีค่าเท่าใด จะได้ผลลัพธ์เฉลี่ยต่างกันไม่เกิน 3.5%

5.2.2

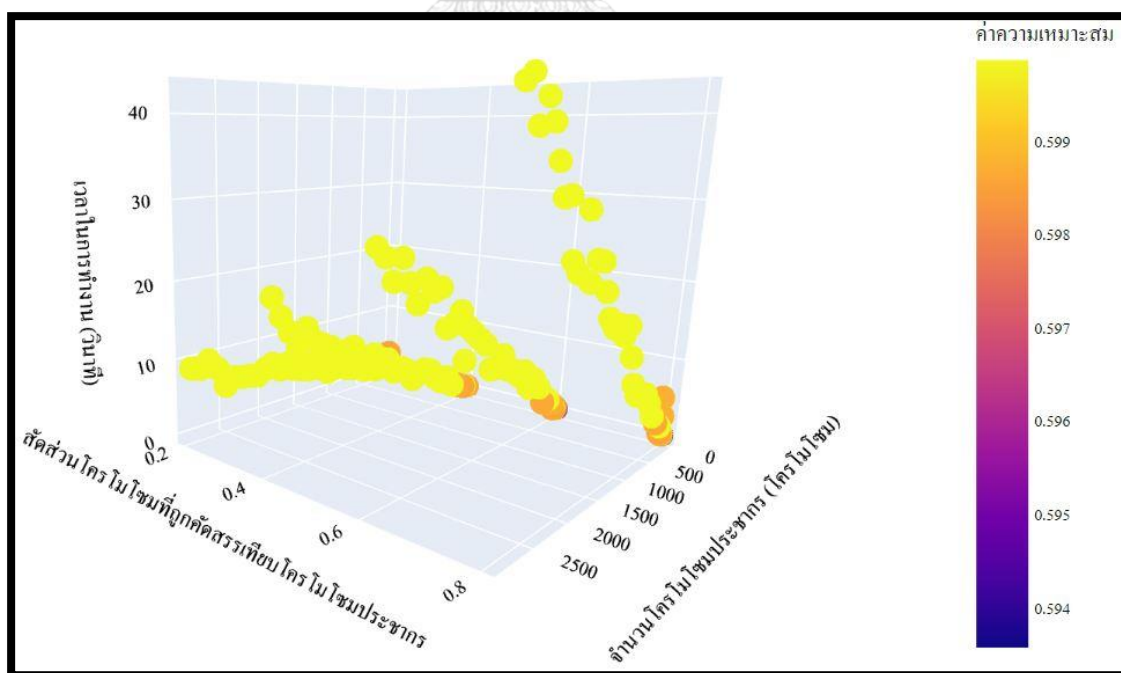
การวิเคราะห์เชิงเวลา

จากรูปที่ 40 สังเกตได้ว่าแถบสีเหลืองยกตัวสูงขึ้นตามจำนวนโครโมโซมประชากร และ สัดส่วนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากร ซึ่งหมายความว่า จำนวนโครโมโซมประชากร และจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรให้อยู่รอด แปรผันตรงกับเวลาในการดำเนินการ เนื่องจาก เมื่อจำนวนโครโมโซมประชากรมีค่ามาก ทำให้ต้องมีการคำนวณในขั้นตอนวิธีมากขึ้น ในทางเดียวกัน เมื่อสัดส่วนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากรรวมมีค่าสูงจะทำให้การยุติการดำเนินการขั้นตอนวิธียากขึ้นด้วย เพราะต้องมีการดำเนินการภายในขั้นตอนวิธีให้คุณภาพคำตอบมีจำนวนเท่ากันมากขึ้น ทำให้ต้องมีจำนวนการวนซ้ำของขั้นตอนวิธีมากกว่า

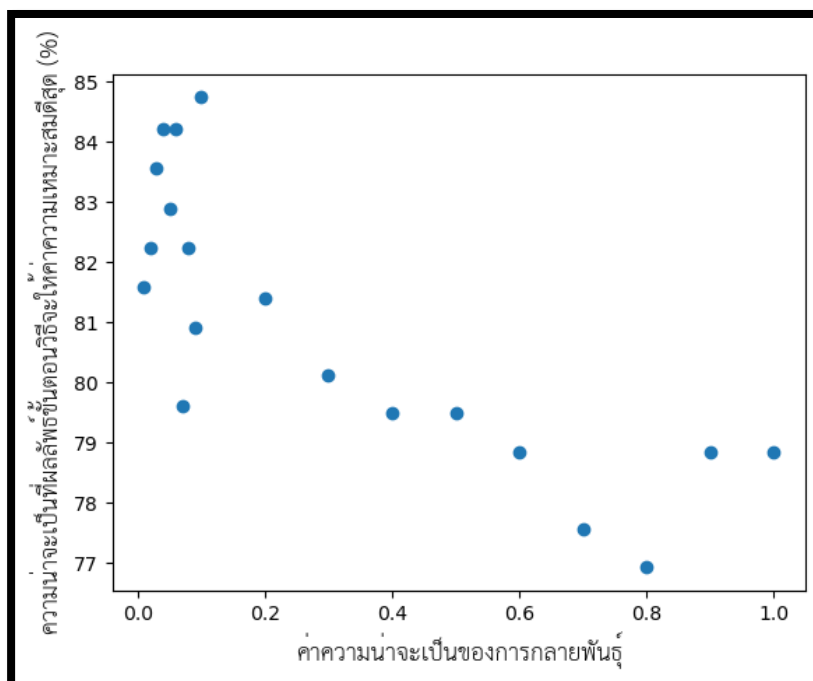
จากการวิเคราะห์ 5.2.1 และ 5.2.2 พบว่าผู้ใช้งานขั้นตอนวิธีสามารถเลือกจำนวนโครโมโซม ประชากร เพื่อเพิ่มความน่าจะเป็นที่จะได้คุณภาพคำตอบที่ดีที่สุด และปริมาณเวลาที่ใช้ตามต้องการ

5.2.3 การวิเคราะห์ตัวแปรความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

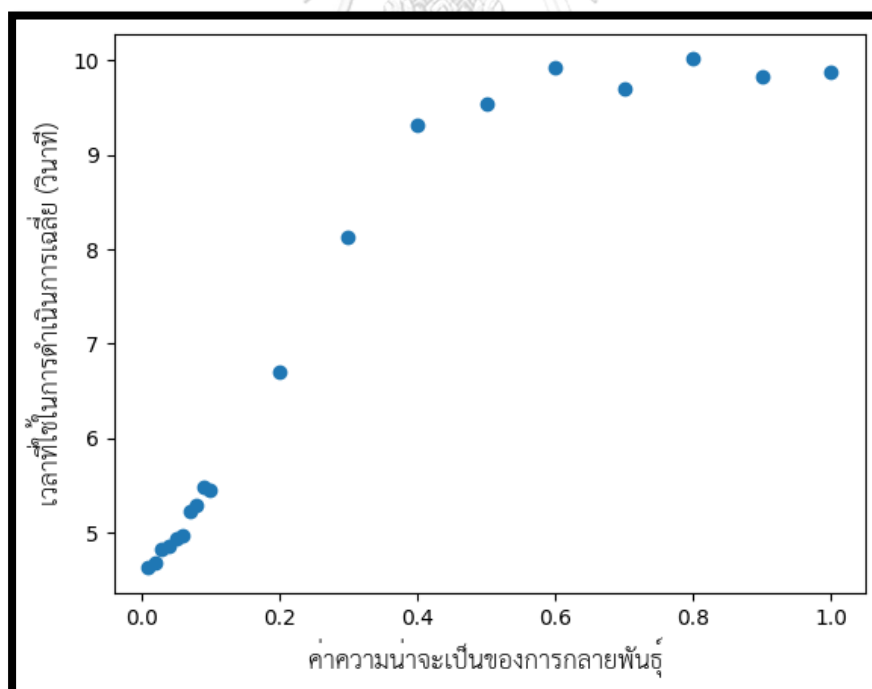
จากกราฟรูปที่ 41 สังเกตได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ใช้ในขั้นตอนการกลายพันธุ์ ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบ ซึ่งจากการทดสอบค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์พบว่า เมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เป็น 0.1 ส่งผลให้โอกาสของการจัดกลุ่มที่ได้จาก ขั้นตอนวิธีมีค่าดีที่สุดมากที่สุด นอกจากนี้เมื่อทดสอบเปลี่ยนค่าการกลายพันธุ์กับโครงสร้างสาย ป้อนอื่นๆ พบว่าค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ตั้งแต่ 0.08 – 0.1 ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็น ของคุณภาพคำตอบหรือการจัดกลุ่มของขั้นตอนวิธีได้ผลลัพธ์ดีที่สุดมีค่าสูงสุด ในด้านเวลาที่ ขั้นตอนวิธีใช้ จากกราฟที่ 42 สังเกตได้ว่า เมื่อค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์มีค่าต่ำ จะทำ ให้ขั้นตอนวิธีทำงานได้รวดเร็วมากขึ้น เนื่องจากการกลายพันธุ์ที่น้อยทำให้มีโอกาสที่จะมีจำนวน โครโมโซมที่เหมือนกันและมีค่าความเหมาะสมเท่ากับค่าดีที่สุดเมื่อเทียบกับโครโมโซมอื่นๆ ในรุ่น รอบเดียวกันมากกว่าซึ่งโครโมโซมเหล่านั้นมีค่าความเหมาะสมของการจัดกลุ่มเท่ากัน ทำให้ ขั้นตอนวิธีมีโอกาสหยุดการดำเนินงานเร็วกว่า



รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเวลาที่ขั้นตอนวิธีใช้ จำนวนโครโมโซมประชากรรวม และ สัดส่วนจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากร



รูปที่ 41 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของผลลัพธ์ที่ได้ค่าความเหมาะสมในการจัดกลุ่มดีที่สุด เทียบกับ ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์



รูปที่ 42 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการดำเนินการเฉลี่ย (วินาที) เทียบกับ ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์

แนวทางการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงมี
แนวทางการประยุกต์ใช้งานจัดกลุ่มเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังต่อไปนี้

- a. จากผลลัพธ์และการวิเคราะห์ใน 5.2.1 สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพการจัดกลุ่มแปรผันตามจำนวนโครโมโซมประชากรรวมหรือ ปริภูมิการค้นหา และจะไม่เพิ่มขึ้นที่ค่าหนึ่งแม้ว่าจำนวนโครโมโซมประชากรรวมจะเพิ่มสูงขึ้น แต่การใช้จำนวนโครโมโซมประชากรรวมมากขึ้นนั้นต้องแลกกับการใช้เวลาในการดำเนินงานที่สูงขึ้น การกำหนดค่าจำนวนโครโมโซมประชากรรวม จึงควรทดสอบปรับเปลี่ยนจำนวนโครโมโซมประชากรรวมให้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับขั้น เพื่อสังเกตการเพิ่มขึ้นของคุณภาพคำตอบ ในกรณีที่คุณภาพคำตอบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนโครโมโซมประชากรรวม ผู้ใช้งานอาจเพิ่มจำนวนโครโมโซมประชากรรวมขึ้นอีกจนกว่าคุณภาพคำตอบจะมีค่าคงที่แม้จำนวนโครโมโซมประชากรรวมจะเพิ่มขึ้น
- b. จากผลลัพธ์และการวิเคราะห์ใน 5.2.2 สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากรรวม ส่งผลถึงระยะเวลาในการดำเนินการของขั้นตอนวิธี และสัดส่วนจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบจำนวนประชากรรวม 0.2 0.4 0.6 และ 0.8 ส่งผลต่อคุณภาพคำตอบใกล้เคียงกัน ดังนั้นสำหรับการกำหนดตัวแปรสัดส่วนจำนวนโครโมโซมที่ถูกคัดสรรเทียบโครโมโซมประชากรรวม อาจใช้ค่า 0.2 เพื่อลดระยะเวลาการดำเนินการให้ต่ำที่สุด
- c. จากผลลัพธ์และการวิเคราะห์ใน 5.2.3 สามารถสรุปได้ว่าค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์จะส่งผลถึงคุณภาพของคำตอบ ซึ่งเมื่อมีค่า 0.1 จะให้ค่าคุณภาพคำตอบสูงสุด ดังนั้นผู้ใช้งานขั้นตอนวิธีอาจใช้ค่า 0.1 ในการใช้งานเพื่อให้ความน่าจะเป็นของ คุณภาพคำตอบมีค่าสูงสุด

5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี จะทดสอบขั้นตอนวิธีที่เสนอ เปรียบเทียบกับ ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มด้วยวิธีการพันธุกรรมอย่างง่าย การจัดกลุ่มด้วย DBSCAN แบบดัดแปลง การจัดกลุ่มตามลำดับขั้นแบบรวบยอด และขั้นตอนวิธีแบบใช้แรง โดยค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในขั้นตอนวิธีจะกำหนดดังต่อไปนี้

- a. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทั้ง 2 วิธี จะกำหนดค่าตัวแปรตามการทดสอบในหัวข้อ 5.2 เพื่อให้ขั้นตอนวิธีสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพคำตอบที่อาจจะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือดีที่สุดก็ได้ดังต่อไปนี้ สัดส่วนโครโมโซมประชากรที่ถูกคัดสรรเทียบจำนวนประชากรรวม 50% ซึ่งคิดมาจากค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในรูปกราฟที่ 39 จำนวนประชากรโครโมโซมรวม 100 – 1000 เพิ่มตามลำดับขั้น ขั้นละ 100 โครโมโซม จำนวนรอบการยุดิขั้นตอนวิธี 100 รอบ ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.5 สำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายเนื่องจากค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่ายมีผลต่อการจัดกลุ่มแบบสุ่ม และเท่ากับ 0.1 สำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลง เนื่องจากเป็นค่าที่ให้ผลลัพธ์คุณภาพคำตอบดีที่สุดตามการทดสอบ ทำซ้ำอย่างละ 10 ครั้ง รวมทั้งหมด 100 ครั้ง ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง การจัดกลุ่มตามลำดับขั้นแบบรวบยอดจะใช้ค่าของตัวแปรที่ได้จากการผสมผสานตัวแปรทั้งหมดในหัวข้อ 4.6.2
- b. ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง จะทำซ้ำขั้นตอนวิธีทั้งหมด 100 ครั้งเพื่อนำผลลัพธ์จากขั้นตอนวิธีมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

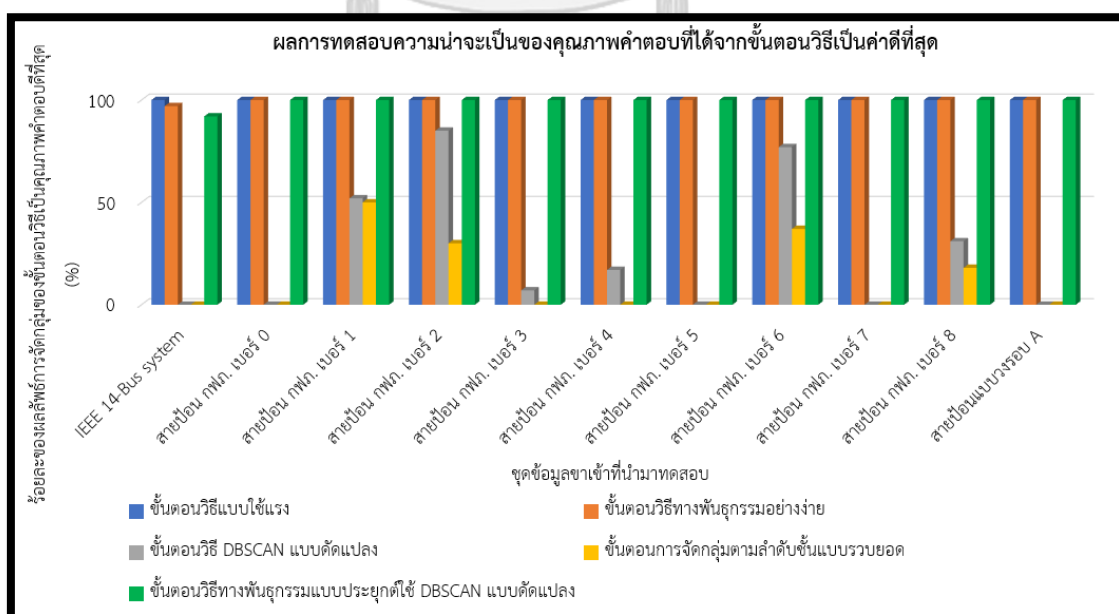
ข้อมูลนำเข้าที่นำมาทดสอบจะใช้ข้อมูลทั้งหมดในบทที่ 5 ข้อ 5.1 ในตารางที่ 5 – 10 เป็นตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบขั้นตอนวิธีทั้ง 5 ขั้นตอนวิธี

5.3.1 การทดสอบคุณภาพการจัดกลุ่ม

ในตารางที่ 5 และรูปที่ 43 สามารถสังเกตได้ว่า ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย และวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงสามารถให้ผลลัพธ์เป็น คำตอบที่ดีที่สุดได้ทุกชุดข้อมูล ในขณะที่ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง และ การจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอดนั้นไม่สามารถจัดกลุ่มให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทั้งหมด เนื่องมาจากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมทั้งสองแบบนั้น มีการวนซ้ำเพื่อสุ่ม ปรับเปลี่ยน และแก้ไขบางส่วนของการจัดกลุ่ม ทำให้มีโอกาสค้นหา คำตอบที่ดีที่สุดซึ่งอยู่ในปริภูมิของคำตอบได้มากกว่า นำไปสู่โอกาสที่ขั้นตอนวิธีจะให้ผลลัพธ์เป็น คำตอบที่ดีที่สุดได้มากกว่า

จากการทดลอง IEEE 14-Bus system พบว่า ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงมีค่าความน่าจะเป็นในการได้คำตอบดีสุดน้อยกว่าขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย

ในตารางที่ 6 และ 7 และรูปที่ 44 และ 45 แสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบ สำหรับผลการทดสอบเวลาในการดำเนินการของแต่ละขั้นตอนวิธี แสดงดังตารางที่ 8 และรูปที่ 46 และผลลัพธ์จำนวนกลุ่มจากการจัดกลุ่มที่ดีที่สุดบนสายป้อนตามค่าเฉลี่ยตัวประกอบภาระ แสดงดังตารางที่ 9



รูปที่ 43 ผลการทดสอบความน่าจะเป็นของคุณภาพคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีเป็นค่าที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความน่าจะเป็นของคุณภาพคำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีเป็นค่าดีที่สุด

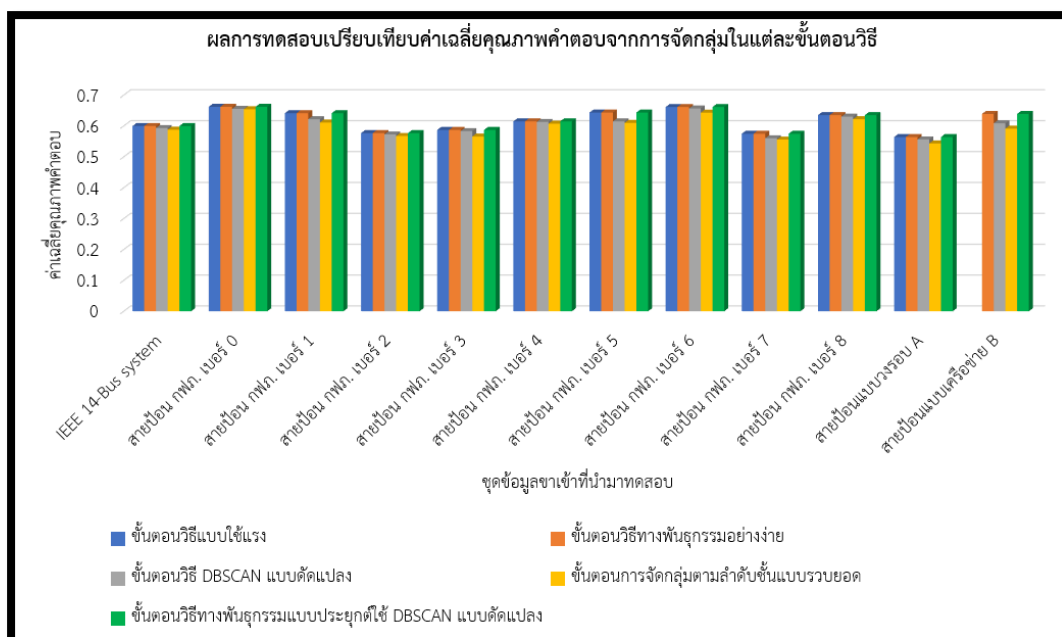
	ขั้นตอนวิธีแบบใช้แรง	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย	ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง	ขั้นตอนการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอด	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง
IEEE 14-Bus system	100	97	0	0	92
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 0	100	100	0	0	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 1	100	100	52	50	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 2	100	100	85	30	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 3	100	100	7	0	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 4	100	100	17	0	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 5	100	100	0	0	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 6	100	100	77	37	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 7	100	100	0	0	100
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 8	100	100	31	18	100
สายป้อนแบบวงรอบ A	100	100	0	0	100
สายป้อนแบบเครือข่าย B	-	-	-	-	-

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธี

	ค่าตัวประกอบ ภาระของทั้ง สายป้อน ก่อนจัดกลุ่ม	ขั้นตอนวิธีแบบ ใช้แรง	ขั้นตอนวิธีทาง พันธุกรรม อย่างง่าย	ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบ ดัดแปลง	ขั้นตอนการจัด กลุ่ม ตามลำดับ ชั้นแบบ รวบยอด	ขั้นตอนวิธีทาง พันธุกรรมแบบ ประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบ ดัดแปลง
IEEE 14-Bus system	0.57677	0.59983	0.59981	0.59319	0.58814	0.59979
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 0	0.65485	0.66207	0.66207	0.65552	0.65417	0.66207
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 1	0.64145	0.64145	0.64145	0.62199	0.61136	0.64145
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 2	0.57673	0.57673	0.57673	0.57253	0.56758	0.57673
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 3	0.58302	0.58704	0.58704	0.5833	0.56580	0.58704
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 4	0.61269	0.6149	0.6149	0.61307	0.60730	0.61490
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 5	0.62878	0.64344	0.64344	0.61477	0.60988	0.64344
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 6	0.66141	0.66141	0.66141	0.65673	0.63400	0.66141
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 7	0.56128	0.57497	0.57497	0.56013	0.55598	0.57497
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 8	0.62781	0.63515	0.63515	0.63008	0.62186	0.63515
สายป้อนแบบ วงรอบ A	0.55661	0.56422	0.56422	0.55641	0.54352	0.56422
สายป้อนแบบ เครือข่าย B	0.5989	-	0.63903	0.60871	0.59145	0.63903

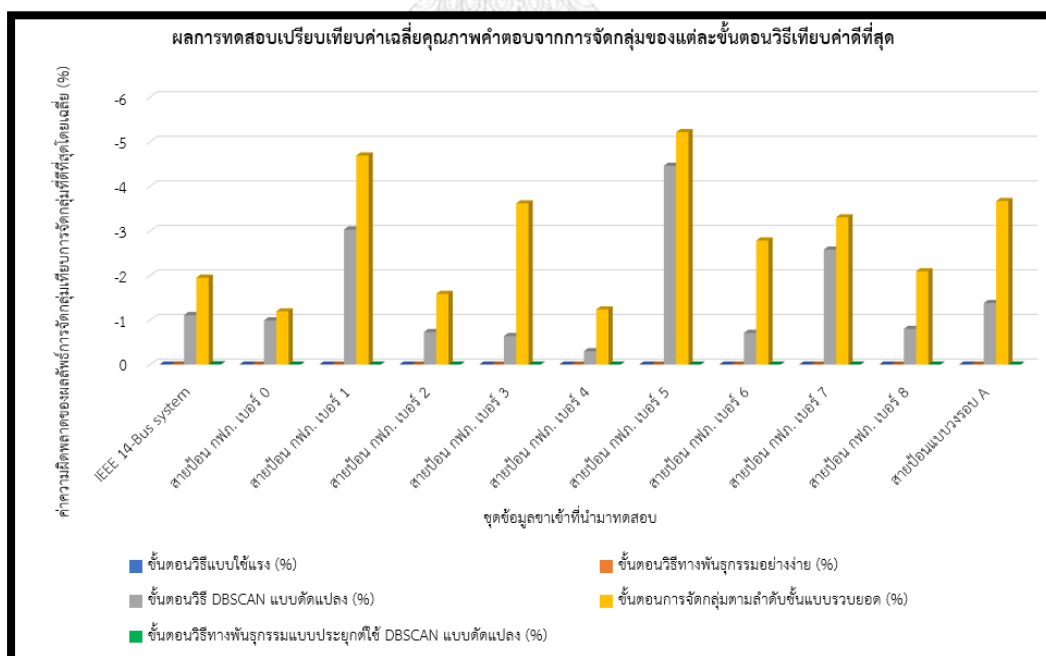
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธี
 เปรียบค่าที่ดีที่สุด

	ขั้นตอนวิธีแบบใช้แรง (%)	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย (%)	ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง (%)	ขั้นตอนการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอด (%)	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง (%)
IEEE 14-Bus system	0.00	-0.0033	-1.11	-1.95	-0.0066
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 0	0.00	0.00	-0.99	-1.19	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 1	0.00	0.00	-3.03	-4.69	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 2	0.00	0.00	-0.73	-1.59	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 3	0.00	0.00	-0.64	-3.62	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 4	0.00	0.00	-0.30	-1.24	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 5	0.00	0.00	-4.46	-5.22	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 6	0.00	0.00	-0.71	-2.78	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 7	0.00	0.00	-2.58	-3.30	0.0000
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 8	0.00	0.00	-0.80	-2.09	0.0000
สายป้อนแบบวงรอบ A	0.00	0.00	-1.38	-3.67	0.0000
สายป้อนแบบเครือข่าย B	-	-	-	-	-



รูปที่ 44 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธี

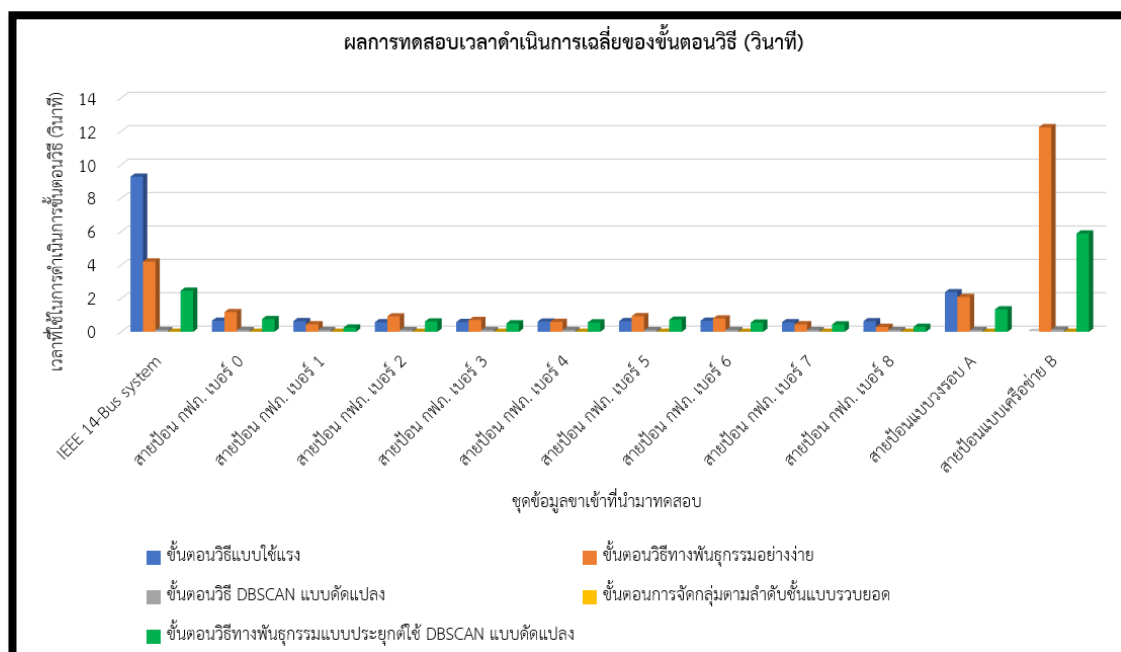
5.3.2 การทดสอบคุณภาพเชิงเวลา



รูปที่ 45 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคุณภาพคำตอบจากการจัดกลุ่มของแต่ละขั้นตอนวิธีเทียบกับค่าที่ดีที่สุด

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบเวลาดำเนินการเฉลี่ยของขั้นตอนวิธี (วินาที)

	ขั้นตอนวิธีแบบใช้แรง	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย	ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง	ขั้นตอนการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอด	ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง
IEEE 14-Bus system	9.2873	4.20975	0.11454	0.00233	2.45808
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 0	0.66207	1.18286	0.10805	0.00226	0.76430
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 1	0.64145	0.45017	0.10857	0.00209	0.25759
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 2	0.57673	0.92623	0.10807	0.00236	0.61937
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 3	0.58704	0.71077	0.10823	0.00218	0.50511
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 4	0.61490	0.59382	0.10835	0.00227	0.56369
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 5	0.64345	0.93595	0.10799	0.00224	0.72820
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 6	0.66142	0.80269	0.10829	0.00229	0.55243
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 7	0.57497	0.45026	0.10798	0.00214	0.44163
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 8	0.63515	0.30240	0.10793	0.00224	0.30118
สายป้อนแบบวงรอบ A	2.37067	2.08718	0.11108	0.00230	1.34749
สายป้อนแบบเครือข่าย B	-	12.2506	0.13706	0.00333	5.88434



รูปที่ 46 ผลการทดสอบเวลาดำเนินการเฉลี่ยของขั้นตอนวิธี (วินาที)

ตารางที่ 9 ผลลัพธ์จำนวนกลุ่มจากการจับกลุ่มที่ดีที่สุดบนสายป้อนตามค่าเฉลี่ยตัวประกอบภาระ

ข้อมูลสายป้อนที่นำมาทดสอบ	จำนวนกลุ่ม
IEEE 14-Bus system	2
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 0	2
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 1	1
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 2	1
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 3	2
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 4	2
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 5	2
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 6	1
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 7	2
สายป้อน กฟภ. เบอร์ 8	2
สายป้อนแบบวงรอบ A	2
สายป้อนแบบเครือข่าย B	3 (ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจาก Genetic algorithm)

จากผลการทดสอบด้านเวลาในตารางที่ 8 และรูปที่ 46 พบว่า ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลงและ การจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอดให้ผลลัพธ์ด้านเวลาดีกว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทั้ง 2 แบบ สำหรับขั้นตอนวิธีแบบใช้แรงอาจให้ผลลัพธ์เชิงเวลาใกล้เคียงกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทั้ง 2 แบบ

ในกรณีที่ข้อมูลขาเข้ามีสายเชื่อมที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับโหนดที่เป็นโหนด 15 เส้น ดังตัวอย่างข้อมูลขาเข้า IEEE 14-bus system จะพบว่าขั้นตอนวิธีแบบใช้แรงใช้เวลามากกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง 3.78 เท่า นอกจากนี้เมื่อข้อมูลขาเข้ามีสายเชื่อมที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับโหนดที่เป็นโหนด 34 เส้น จะพบว่าการใช้ขั้นตอนวิธีแบบใช้แรง อาจไม่สามารถหาคำตอบภายในเวลาจำกัดได้ ดังเช่น ข้อมูลขาเข้าแบบสายป้อนแบบเครือข่าย B ซึ่งทำให้ขั้นตอนวิธีแบบใช้แรงต้องค้นหาคำตอบจำนวนทั้งหมด 2^{34} หรือ 17,179,869,184 คำตอบทำให้ต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานระดับชั่วโมง ในทางตรงข้าม ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม และ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง สามารถค้นหาคำตอบที่มีแนวโน้มที่จะเป็นค่าที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดกลุ่มรูปแบบอื่นๆภายในขั้นตอนวิธี ได้ในเวลาจำกัด (วินาที) เนื่องจาก ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม สามารถค้นหาคำตอบในปริภูมิคำตอบโดยไม่ต้องค้นหาคำตอบทั้งปริภูมิ

จากการทดสอบในตารางที่ 8 พบว่า ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลงใช้เวลาการดำเนินการน้อยกว่าขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่ายเมื่อทดสอบกับสายป้อนทุกรูปแบบ เนื่องจาก ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลงสามารถคงกลุ่มยีนในโครโมโซมที่ถูกจัดเป็นกลุ่มไว้แล้วได้ ในขณะที่ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่ายต้องมีการสุมยีนภายในโครโมโซมแต่ละโครโมโซมใหม่ทั้งหมดในขั้นตอนการกลายพันธุ์ ทำให้สามารถสิ้นสุดขั้นตอนวิธีได้เร็วมากกว่า

สำหรับในกรณีโครงสร้างสายป้อนแบบ IEEE-14 bus ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายใช้เวลาน้อยกว่า เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ P ของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงเป็น 0.5 ซึ่งอาจเกิดจาก โครงสร้าง IEEE-14 bus มีโหนดที่ทำให้โครงสร้างเกิดทางเลือก 3 ทางขึ้นไปมากกว่า ซึ่งสังเกตได้จากสัดส่วน จำนวนโหนดที่มีการเชื่อมต่อกับโหนดที่ไม่ใช่โหนด 3 เส้นเชื่อมขึ้นไป เทียบจำนวนโหนดที่เป็นโหนดทั้งหมด พบว่ามี 6 โหนดจาก 11 โหนด ซึ่งเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับโครงสร้างข้อมูลขาเข้าอื่นๆ ผู้วิจัยจึงทดสอบ สุ่มนำเส้นเชื่อมออก 1 เส้น ซึ่งเป็นเส้นเชื่อมที่มีการเชื่อมต่อกับโหนดที่ไม่ใช่โหนดและโหนดนั้นมีการ

เชื่อมต่อ 3 เส้นเชื่อมขึ้นไป แล้วทดสอบโดยมีการกำหนดตัวแปรเช่นเดิมทุกประการ พบว่า ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงใช้เวลาเฉลี่ย 1.58710 วินาที ในขณะที่ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมใช้เวลาเฉลี่ย 2.32776 วินาที หลังจากนั้นทำการทดสอบซ้ำ นำเส้นเชื่อมออกเพิ่มอีก 1 เส้น พบว่า ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงใช้เวลาเฉลี่ย 1.65479 วินาที ในขณะที่ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย ใช้เวลาเฉลี่ย 2.50239 วินาที จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงสามารถทำงานได้เร็วกว่า เมื่อลดสัดส่วนจำนวนโหนดที่มีกิ่งทางเลือก 3 ทางขึ้นไป ของโครงสร้างสายป้อนของ IEEE-14 bus ลง

หมายเหตุ 1 กำหนดให้ M คือจำนวนสายเชื่อมหรือตัวตัดวงจรที่สามารถเปลี่ยนสถานะได้ G คือจำนวนการวนซ้ำหรือจำนวนรอบการแพร่พันธุ์ของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม C คือจำนวนยีนหรือขนาดของโครโมโซม P คือจำนวนประชากรโครโมโซมรวม

ตารางที่ 10 ความซับซ้อนทางเวลาของขั้นตอนวิธี

ขั้นตอนวิธี	Time complexity
ขั้นตอนวิธีแบบใช้แรง	$O(2^M)$
ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย	$O(GPC)$
ขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลง	$O(M^2)$
การจัดกลุ่มตามลำดับชั้นแบบรวบยอด	$O(M^2)$
ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมแบบประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลง	$O(GPC)$

ในตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีต่างๆ การวิเคราะห์ความซับซ้อนเชิงเวลาของขั้นตอนวิธี DBSCAN แบบดัดแปลงสามารถวิเคราะห์ความซับซ้อนได้ดังต่อไปนี้ กำหนดให้ M คือจำนวนตัวตัดวงจรจากขั้นตอนวิธี ซึ่งขั้นตอนวิธีจะมีการวนซ้ำมากที่สุด M รอบ ภายในแต่ละรอบมีการพิจารณาข้อมูลสายเชื่อมจำนวนมากที่สุด M ตัว ดังนั้นความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีคือ $O(M^2)$ และขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ใช้ DBSCAN แบบดัดแปลงมีความซับซ้อนทางเวลาดังนี้ กำหนดให้ G คือจำนวนรอบการแพร่พันธุ์ของวิธีทางพันธุกรรม C คือจำนวนยีนในโครโมโซม P คือจำนวนโครโมโซมประชากรทั้งหมดในแต่ละรอบ ขั้นตอนวิธีมีการวนซ้ำ G รอบ ในขั้นตอนการกลายพันธุ์ มีการพิจารณาการสลับสายพันธุ์จำนวนประชากรทั้ง P โครโมโซม C รอบ ขั้นตอนในการจัดกลุ่มและพิจารณาการกลายพันธุ์ยีน

ภายในประชากรทั้งหมด P โครโมโซม ทั้งหมด C รอบ ดังนั้นความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีคือ $O(GPC)$

5.3.3 ความสามารถในการประยุกต์ใช้

5.3.3.1 ความสามารถในการประยุกต์หรือปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของขั้นตอนวิธีตามข้อกำหนดอื่นๆ

สำหรับขั้นตอนวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ หรือขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลงได้พัฒนาขึ้นมาจาก ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และแนวคิดการจัดกลุ่มด้วยการเรียนรู้ของเครื่อง DBSCAN นอกจากนี้ ยังเพิ่มขั้นตอนการปรับเปลี่ยนกลุ่มเพื่อให้สามารถจัดกลุ่มได้ตรงตามเป้าประสงค์ของสมมติฐาน ซึ่งในการพัฒนาในอนาคต สามารถปรับเปลี่ยนเป้าประสงค์หรือเงื่อนไขการจัดกลุ่มได้ตามต้องการ

5.3.3.2 การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีในเหตุการณ์จริง

ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ข้อบกพร่องทางไฟฟ้าที่โหนดบางโหนดของกริดไฟฟ้า ผู้ใช้งานอาจใช้ขั้นตอนวิธีที่เสนอนี้ ในการช่วยจัดกลุ่มโหลดไมโครกริดในเวลาที่ยากัด และแยกโหนดที่มีความสำคัญ เช่น โรงพยาบาล ออกจากกริดหลักได้อย่างทันท่วงที พร้อมทำให้กลุ่มไมโครกริดที่ได้มีโอกาสเป็นกลุ่มไมโครกริดที่มี ประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพ และเสถียรภาพมากที่สุด

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุปของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มโหนด โดยพิจารณาตามค่าตัวประกอบภาระ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึง ค่าการใช้พลังงานสุทธิเป็นศูนย์ ประสิทธิภาพการใช้กำลังไฟฟ้า และความน่าเชื่อถือ ของระบบไฟฟ้า ซึ่งในอนาคตอาจสามารถช่วยในการจัดกลุ่มไมโครกริดเพื่อแยกโดดออกจากกริดหลักในเวลาที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าได้อย่างทันท่วงที รวมถึงการจัดกลุ่มไมโครกริดในช่วงเวลาปกติ สำหรับข้อมูลที่น่ามาทดสอบ ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำทั้งข้อมูลการเชื่อมต่อสายป้อนจาก กฟภ. IEEE-14 bus และ ข้อมูลที่จำลองขึ้นเพื่อทดสอบโครงสร้างสายป้อนที่มีลักษณะแบบวงรอบ และเครือข่าย โดยโครงสร้างสายป้อน IEEE-14 bus มีสัดส่วนเส้นเชื่อมต่อโหนดภายในสายป้อนมากเมื่อเทียบกับข้อมูลที่ได้รับจาก กฟภ. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพเชิงเวลา

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลงให้ผลลัพธ์การจัดกลุ่มที่ดีที่สุดได้ และใช้เวลาน้อยกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายทุกกรณี อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบกับโครงสร้างสายป้อนแบบเครือข่าย IEEE-14 bus ที่มีสัดส่วน จำนวนโหนดที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับโหนดและเชื่อมต่อกับสายเชื่อมมากกว่า 2 เส้น เทียบจำนวนโหนดทั้งหมดเท่ากับ 6:11 พบว่าความน่าจะเป็นที่ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดน้อยกว่า ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมอย่างง่าย ถึงแม้กระนั้น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งประยุกต์ DBSCAN แบบดัดแปลงยังมีข้อดีคือใช้เวลาน้อยกว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่าย 1.71 เท่า ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างความเร็วที่ขั้นตอนวิธีใช้ และความน่าจะเป็นของการได้คุณภาพการจัดกลุ่มที่ดีที่สุด

6.2 ข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์

- ขั้นตอนวิธีอาจสามารถประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีอื่นๆที่ไม่ใช่ DBSCAN มาใช้ร่วมกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม หรือใช้ขั้นตอนวิธีอื่นๆในการจัดกลุ่มได้
- ผู้ใช้งานขั้นตอนวิธี สามารถสร้างข้อจำกัดการจัดกลุ่มอื่นๆนอกเหนือจากไมโครกริตทุกกลุ่ม ต้องประกอบด้วยโหนดจำนวน 2 โหนดขึ้นไป เพื่อนำมาพิจารณาการจัดกลุ่ม ไมโครกริต
- ผู้ใช้งานอาจเปลี่ยนเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพคำตอบ



บรรณานุกรม

- [1] D. Boroyevich, I.C., D. Dong, R. Burgos, F. Wang and F. Lee, *Future electronic power distribution systems a contemplative view*, in *2010 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*. 2010. p. 1369-1380.
- [2] Adam Hirsch, Y.P., Josep Guerrero, *Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. **90**: p. 402-411.
- [3] Sayyad Basim Qamar, I.J., *Renewable Energy Sources for Isolated Self-sufficient Microgrids: Comparison of Solar and Wind Energy for UAE*. Energy Procedia, 2016. **103**: p. 413-418.
- [4] Ester, M.a.K., Hans-Peter and Sander, J. and Xu, Xiaowei, *A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise*. 1996, AAAI Press. p. 226–231.
- [5] De Jong, K., *Learning with genetic algorithms: An overview*. Machine Learning, 1988. **3**(2): p. 121-138.
- [6] Assoc. Prof. Kulyos Audomvongseeree, P.D., การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง 1. 2559.
- [7] Müllner, D., *Modern hierarchical, agglomerative clustering algorithms*. 2011.
- [8] Wang, Y.a.C., Chen and Wang, Jianhui and Baldick, Ross, *Research on Resilience of Power Systems Under Natural Disasters—A Review*. IEEE Transactions on Power Systems 2016. **31**: p. 1604-1613.
- [9] Whitehead, D.E.a.O., Kevin and Gammel, Dennis and Smith, Jess, *Ukraine cyber-induced power outage: Analysis and practical mitigation strategies*, in *2017 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*. 2017. p. 1-8.
- [10] LaCommare, K.H.a.E., Joseph H. and Dunn, Laurel N. and Sohn, Michael D., *Improving the estimated cost of sustained power interruptions to electricity customers*. Energy (Oxford), 2018. **153**.
- [11] Bansal, R., *Handbook of Distributed Generation: Electric Power Technologies, Economics and Environmental Impacts*. 2017.

- [12] Hoonchareon, A.P.N., การพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ทกริด (กรณีศึกษาเมืองแม่ฮ่องสอน). 2559.
- [13] Wang, S.a.L., Zhixin and Wu, Lei and Shahidehpour, Mohammad and Li, Zuyi, *New Metrics for Assessing the Reliability and Economics of Microgrids in Distribution System*. IEEE Transactions on Power Systems, 2013. **28**: p. 2852-2861.
- [14] Cheong, D.M.L.K.a.F., T. and lu, H.C. and Reynolds, M. and Fletcher, J., *Review of clustering algorithms for microgrid formation*. 2017.
- [15] Y. Hong, S.G., H. Lu and S. Wang, *Discovering energy communities for microgrids on the power grid*, in *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*. 2017. p. 64-70.
- [16] Schulz, H.R.a.N.N., *An Improved DBSCAN Method for Self-sufficient Microgrid Design*, in *2018 North American Power Symposium (NAPS)*. 2018. p. 1-6.
- [17] Lu, Z.Z., Kai & He, Juanjuan & Niu, Yunyun., *Applying K-means Clustering and Genetic Algorithm for Solving MTSP*. 2016.
- [18] Chicco, E.C.G., *Probabilistic characterisation of the aggregated residential load patterns*. IET Generation, Transmission & Distribution, 2008. **2**(3).
- [19] Christie, R., *IEEE 14-Bus System*, R. Christie, Editor. 1993.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จารุพจน์ ถนอมรักษ์
วัน เดือน ปี เกิด	2 มีนาคม 2540
สถานที่เกิด	กรุงเทพ
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	250/412 พุทธมณฑลสาย 2 ซอย 32 แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพฯ 10170
ผลงานตีพิมพ์	The 6th International Conference on Information Technology (InCIT2022)
รางวัลที่ได้รับ	-

