

### บทที่ 3

#### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

ในงานวิจัยเรื่อง “แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดพีชซึ่งเพื่อแก้ปัญหการสับเปลี่ยนหม้อ-แปลงจำหน่าย” มีส่วนประกอบหลักแบ่งออกเป็น 3 ส่วนประกอบด้วย

- 3.1 ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย
- 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 3.3 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

#### 3.1 ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1 กลุ่มตัวอย่างหม้อแปลงจำหน่าย

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างหม้อแปลงจำหน่ายชนิด 3 เฟสที่เป็นทรัพย์สินของ กฟภ.ที่ติดตั้งจำนวนทั้งสิ้น 709 เครื่องในพื้นที่รับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดลำปาง (กฟภ.ลำปาง) ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่ 11 ตำบลใน 2 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองลำปางและอำเภอแม่-เมาะ ดังแสดงดังตารางที่ 3.1 ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างนี้อาศัยข้อมูลจากการวัดปริมาณโหลดในช่วงการ-ใช้ไฟฟ้าสูงสุดจากแต่ละจุดติดตั้งของหม้อแปลง โดยใช้ช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดจากฐานข้อมูล-โครงการวิจัยภาระไฟฟ้า (Load Research) ของ กฟภ.จากกราฟลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท ซึ่งข้อมูลผู้ใช้ไฟที่ติดตั้งมิเตอร์ต่อกับหม้อแปลงจำหน่ายชนิด 3 เฟสที่-เป็นทรัพย์สินของ กฟภ.แต่ละเครื่องนั้น ประกอบด้วย ประเภทของผู้ใช้ไฟดังนี้

- |                   |                                                                                 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ประเภท 10 หมายถึง | บ้านอยู่อาศัยที่ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน                        |
| ประเภท 11 หมายถึง | บ้านอยู่อาศัยที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน                           |
| ประเภท 20 หมายถึง | กิจการขนาดเล็กที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15-นาที่ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ |
| ประเภท 60 หมายถึง | ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร                                             |
| ประเภท 80 หมายถึง | ไฟฟ้าชั่วคราว                                                                   |

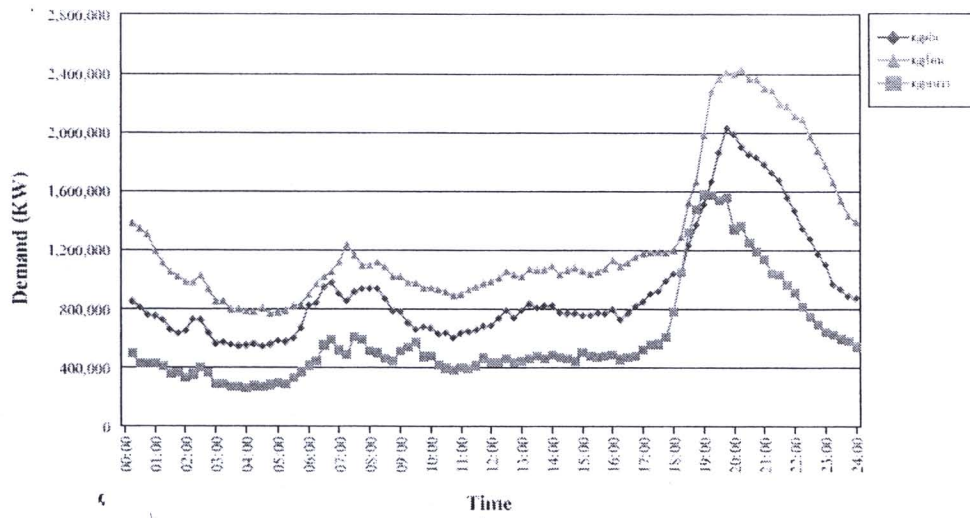
จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงกราฟลักษณะการใช้ไฟฟ้าของโหลดประเภท 10, 11, 20 และ 60 ซึ่งรับ-กระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ.ซึ่งมีการใช้โหลดช่วงสูงสุดของวันในช่วงเวลา-ประมาณ 19.00-21.00 น. ส่วนโหลดประเภทส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไรมีการใช้-โหลดช่วงสูงสุดของวันในช่วงเวลาประมาณ 14.00-15.00 น.

ตารางที่ 3.1 แสดงจำนวนหม้อแปลงจำหน่ายแยกตามพื้นที่ของจุดติดตั้ง

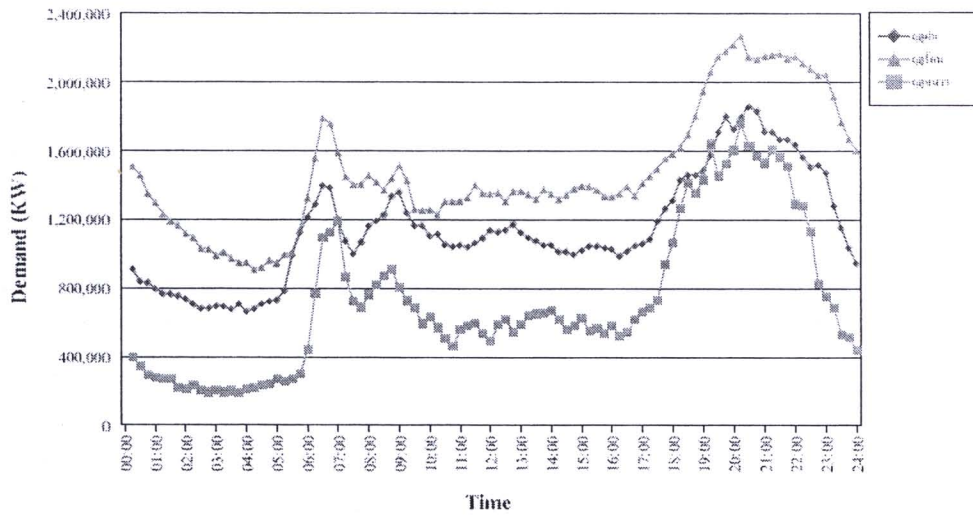
| จุดติดตั้งแยกตำบล | จำนวน (เครื่อง) แยกตามพิกัดหม้อแปลง |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|-------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   | 50(N)                               | 50(O) | 100(N) | 100(O) | 160(N) | 160(O) | 250(N) | 250(O) | 315(N) | 315(O) | 400(N) | 400(O) |
| กล้วยแพะ          | 1                                   | 2     | 1      | 3      | 1      | 3      | 4      |        | 1      |        |        |        |
| ชมพู              | 2                                   | 7     | 8      | 7      | 5      | 18     | 3      | 15     |        | 3      |        |        |
| ตันธงชัย          | 5                                   | 4     | 3      | 8      | 5      | 9      | 6      | 7      |        |        |        |        |
| ทุ่งฝ่าย          | 3                                   | 7     | 2      | 10     |        | 3      |        | 2      |        |        |        |        |
| นิคมพัฒนา         | 1                                   | 2     |        | 3      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| บ่อแฮ้ว           | 1                                   | 8     | 5      | 9      | 7      | 17     | 6      | 12     |        | 1      |        |        |
| บ้านคำ            | 2                                   | 3     | 1      | 5      | 2      |        |        |        |        |        |        |        |
| บ้านเป้า          |                                     | 5     |        | 6      | 4      | 3      |        |        |        |        |        |        |
| บ้านแสง           |                                     |       | 2      | 5      | 1      | 2      |        | 1      |        |        |        |        |
| บ้านเสด็จ         |                                     | 1     | 1      | 6      | 1      | 2      | 1      | 6      |        |        |        |        |
| บ้านเอื้อม        |                                     | 2     |        | 7      |        | 5      |        | 1      |        |        |        |        |
| บุญนาคนพัฒนา      |                                     |       |        | 3      | 1      |        | 1      |        |        |        |        |        |
| ป่งแสนทอง         | 1                                   | 1     |        | 14     | 4      | 9      | 1      | 4      |        | 2      |        | 1      |
| พระบาท            | 8                                   | 11    | 3      | 21     | 12     | 26     | 5      | 8      |        |        |        | 1      |
| พิชัย             | 4                                   | 15    | 3      | 16     | 8      | 16     | 5      | 7      |        |        | 1      |        |
| เวียงเหนือ        |                                     | 1     |        | 4      | 2      | 6      | 2      | 13     |        | 1      |        |        |
| สบตุ๋ย            |                                     | 1     | 1      | 3      | 3      | 12     | 4      | 20     |        | 1      |        | 1      |
| สวนดอก            |                                     | 1     | 1      | 2      |        | 7      | 4      | 11     |        |        |        | 1      |
| หัวเวียง          |                                     |       | 1      | 1      | 4      | 3      |        | 5      |        | 2      |        | 3      |
| จางเหนือ          |                                     | 1     | 1      | 1      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| นาสัก             | 1                                   | 4     | 1      | 5      |        |        |        |        |        |        |        |        |
| บ้านดง            |                                     | 1     | 1      | 1      | 1      |        | 2      | 1      |        |        |        |        |
| แม่เมะ            | 3                                   | 4     |        | 7      | 10     | 10     | 7      | 2      |        |        |        |        |
| สบป่าด            |                                     |       |        | 5      | 2      |        |        |        |        |        |        |        |
| รวม               | 32                                  | 81    | 35     | 152    | 73     | 151    | 51     | 115    | 1      | 10     | 1      | 7      |
|                   |                                     |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 709    |

หมายเหตุ.- พิกัด(O) หมายถึง หม้อแปลงที่ กฟผ.จัดซื้อก่อนปี พ.ศ.2543

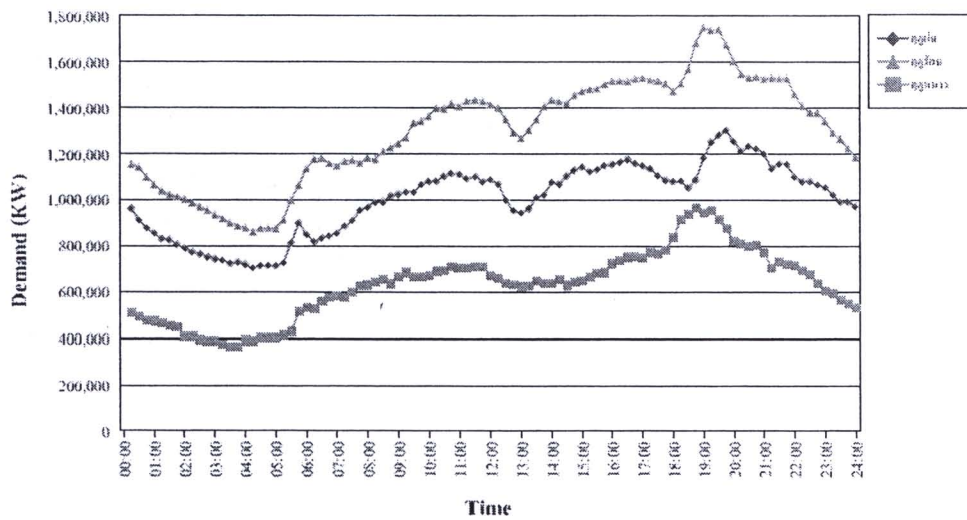
พิกัด(N) หมายถึง หม้อแปลงที่จัดซื้อตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 เป็นต้นมาภายหลังการปรับปรุงข้อกำหนดการจัดซื้อให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงต่ำลง



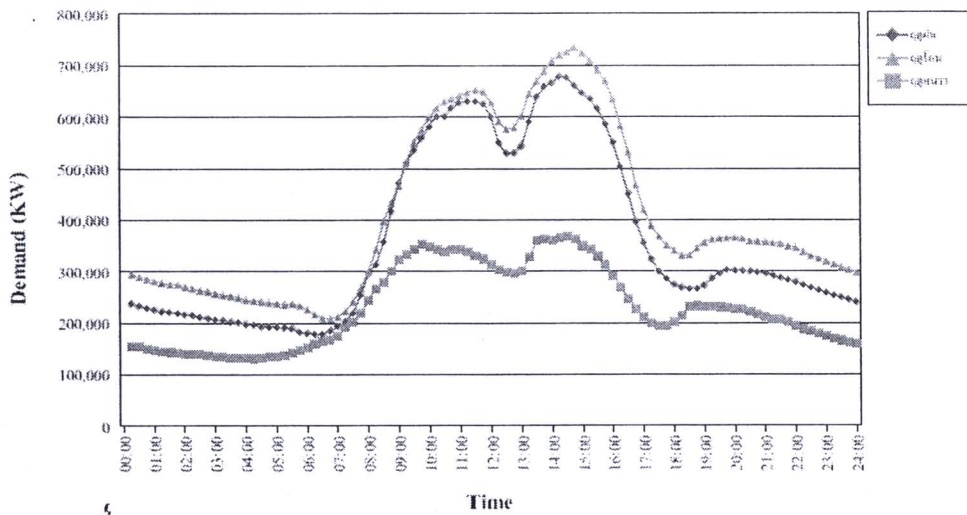
รูปที่ 3.1 ก)



รูปที่ 3.1 ข)



รูปที่ 3.1 ค)



รูปที่ 3.1 ง)

รูปที่ 3.1 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ.

ก) ประเภท 10 ข) ประเภท 11 ค) ประเภท 20 ง) ประเภท 60

### 3.1.2 ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่าย

ในงานวิจัยนี้ใช้ผลจากการตรวจวัดโหลดในช่วงการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลงจำหน่ายจากกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย โดยค่าตัวประกอบการใช้งานของหม้อแปลงจำหน่ายสามารถหาได้จากปริมาณโหลดสูงสุดเทียบกับพิกัดขนาดของหม้อแปลงจำหน่ายดังที่แสดงในสมการ (2.1) และสมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้กำหนดให้หม้อแปลงจำหน่ายชนิด 3 เฟสทุกเครื่องจ่ายโหลดในสถานะสมดุล (Balanced Phase) เมื่อพิจารณาที่ค่าตัวประกอบกำลัง<sup>1</sup> (Power Factor) เท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power; S) มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power; P)

ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายของหม้อแปลงกลุ่มตัวอย่างก่อนทำการสับเปลี่ยนมีค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์เท่ากับ 0.4104 หรือคิดเป็นร้อยละ 41.04

ตัวอย่างข้อมูลโหลดสูงสุดและจำนวนผู้ใช้ไฟแยกตามประเภทแสดงดังตารางที่ 3.3 สำหรับข้อมูลทั้งหมดได้แสดงไว้ที่ ภาคผนวก ก

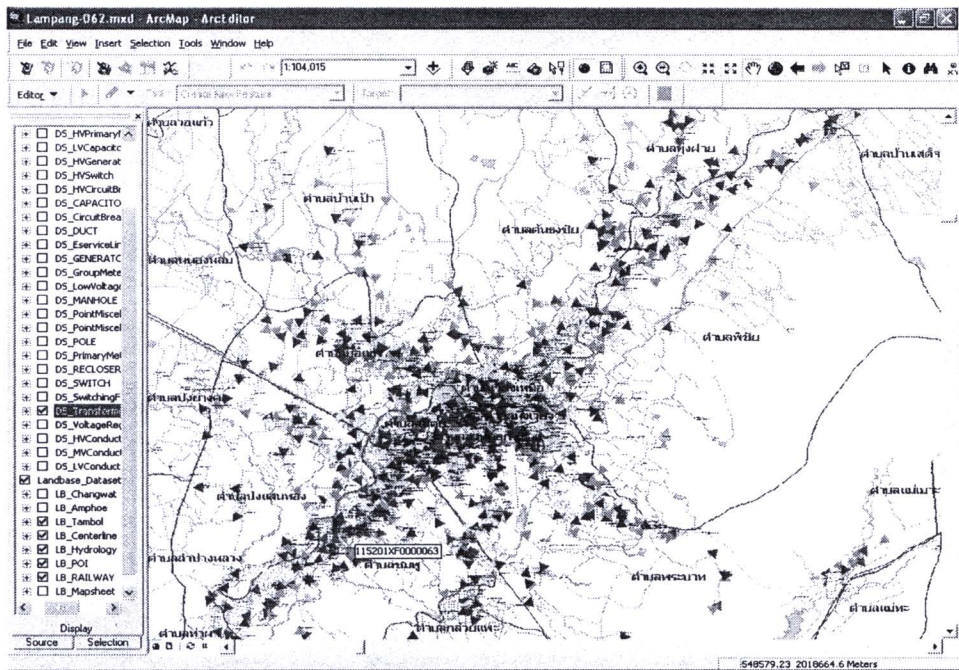
<sup>1</sup> ตัวประกอบกำลัง (Power Factor) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ใช้อย่างแท้จริง (วัตต์) กับ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (โวลต์-แอมแปร์) หากระบบไฟฟ้าใดมีค่าตัวประกอบกำลังที่ดีจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรไฟฟ้าลดลง ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในตัวนำ ลดแรงดันไฟฟ้าตกและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพระบบไฟฟ้าทั้งระบบ

3.1.3 พิกัดจุดติดตั้งของหม้อแปลงจำหน่าย

พิกัดจุดติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายอ้างอิงจากข้อมูลแผนที่ระบบไฟฟ้าของ กฟภ.(โครงการ-ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เฟส 2) ตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างพิกัดจุดติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายจากข้อมูลแผนที่ระบบไฟฟ้า

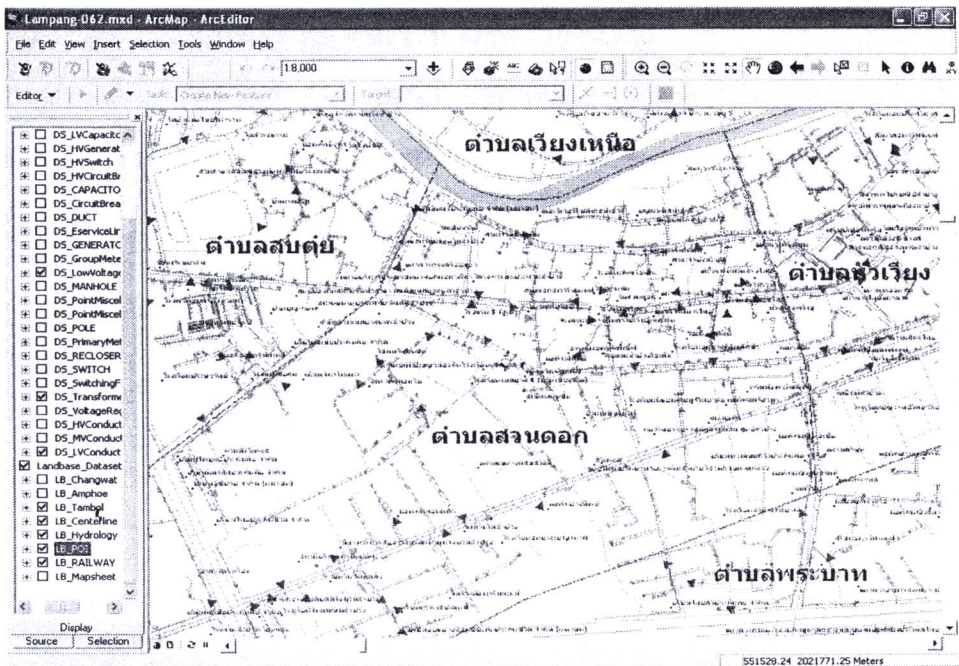
| เลขหม้อแปลง | ตำบล       | พื้นที่ | พิกัด  | X                  | Y                   |
|-------------|------------|---------|--------|--------------------|---------------------|
| 20-002863   | คันธงชัย   | ชนบท    | 160(O) | 552797.72678100000 | 2023568.30498000000 |
| 20-006714   | นาสัก      | ชนบท    | 100(O) | 583619.91867500000 | 2021265.98461000000 |
| 21-000362   | บ่อแฉ้ว    | ชนบท    | 160(O) | 546929.14158900000 | 2025032.84099000000 |
| 23-000757   | ชมพู่      | ธุรกิจ  | 160(O) | 549411.97797400000 | 2020060.54988000000 |
| 24-011297   | แม่เมาะ    | ชนบท    | 100(O) | 573915.55572100000 | 2022671.38812000000 |
| 24-016040   | เวียงเหนือ | เมือง   | 250(O) | 553680.10318300000 | 2023153.53887000000 |
| 25-000519   | บ่อแฉ้ว    | ชนบท    | 50(O)  | 550691.15709700000 | 2024635.66242000000 |
| 26-004921   | บ่อแฉ้ว    | ชนบท    | 50(O)  | 551497.09533500000 | 2025214.70971000000 |
| 26-005005   | พิชัย      | ธุรกิจ  | 50(O)  | 561180.92692800000 | 2030563.80021000000 |



รูปที่ 3.2 ภาพรวมของจุดติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายกลุ่มตัวอย่างบนแผนที่ระบบไฟฟ้า

ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างข้อมูลโหลดสูงสุดและจำนวนผู้ใช้ไฟแยกตามประเภท ณ แต่ละจุดจ่ายโหลดหม้อแปลงจำหน่าย

| เลข<br>หม้อแปลง | สถานที่ติดตั้ง                                  | kVA    | Peak<br>Load<br>(kW) | %UF    | จำนวนผู้ใช้ไฟแยกตามประเภท (ราย) |     |                    |                    |         |
|-----------------|-------------------------------------------------|--------|----------------------|--------|---------------------------------|-----|--------------------|--------------------|---------|
|                 |                                                 |        |                      |        | ที่อยู่อาศัย                    |     | ธุรกิจ<br>ขนาดเล็ก | หน่วยงาน<br>ราชการ | ไฟเกษตร |
|                 |                                                 |        |                      |        | 10                              | 11  |                    |                    |         |
| 20-002863       | จัดสรรข้างวัดหนองละคร-สป.                       | 160(O) | 64.31                | 40.19  | 23                              | 111 | 2                  | 2                  | 138     |
| 20-006714       | บ้านแม่จาง หมู่ 1-แม่เมะ                        | 100(O) | 50.37                | 50.37  | 126                             | 28  | 6                  | 2                  | 164     |
| 21-000362       | บ้านท่าข้าว                                     | 160(O) | 72.87                | 45.54  | 52                              | 36  | 17                 | 1                  | 107     |
| 23-000757       | บ้านนาแก้วใต้ ถ.พหลโยธิน-สป.                    | 160(O) | 129.59               | 81.00  | 36                              | 53  | 37                 | 2                  | 129     |
| 24-011297       | บ้านห้วยคิง-แม่เมะ                              | 100(O) | 40.94                | 40.94  | 122                             | 23  | 1                  | 5                  | 151     |
| 24-016040       | หน้าวัดประตูดินฝั่ง-ลำปาง                       | 250(O) | 79.97                | 31.99  | 58                              | 105 | 12                 | 6                  | 184     |
| 25-000519       | จัดสรรโครงการบ้านน่ออยู่ซอยโกสุมาเขต ม.15       | 50(O)  | 5.93                 | 11.87  |                                 | 11  | 1                  |                    | 15      |
| 26-004921       | จัดสรรหลังวัดคู่คำ (นายสามารถ)-ลำปาง            | 50(O)  | 6.90                 | 13.80  | 10                              | 7   | 5                  |                    | 22      |
| 26-005005       | บ้านปงวัง ม.6 ต.พิชัย-กฟผ.พิชัย                 | 50(O)  | 35.01                | 70.02  | 15                              | 9   | 10                 | 2                  | 36      |
| 26-008201       | อาคารพาณิชย์ ซอยตรงข้าม ร.ร.ประชาธิปไตย-กฟผ.สป. | 50(O)  | 9.73                 | 19.46  |                                 | 3   | 1                  |                    | 4       |
| 52-003574       | บ้านป่าขาม ฝั่ง ว.สารพัดช่าง-สป.                | 160(O) | 65.51                | 40.95  | 28                              | 34  | 17                 | 2                  | 83      |
| 52-003575       | หมู่บ้านเอื้อนสายคำ ถ.ลำปาง-แม่ทะ               | 160(O) | 16.96                | 10.60  |                                 | 40  | 2                  |                    | 43      |
| 52-004825       | อาคารฯ ข้างตลาดพระบาท(ใหม่) ถ.สนามบิน           | 50(O)  | 70.30                | 140.61 | 21                              | 28  | 20                 | 1                  | 73      |
| 52-005319       | อาคารฯ หน้า Big C ฝั่ง Big C ถ.ไฮเวย์-          | 160(O) | 21.45                | 13.41  |                                 | 6   | 7                  |                    | 13      |
| 52-005320       | หมู่บ้านจิตต์อริวัลส์ 2 บ้านทรายใต้ ม.8 ต.พิชัย | 160(O) | 29.12                | 18.20  | 8                               | 75  | 2                  |                    | 85      |



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างจุดติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายกลุ่มตัวอย่างบนแผนที่ระบบไฟฟ้า

3.1.4 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ค่าตัวประกอบกำลังสูญเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากการศึกษาเพื่อประมาณความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังสูญเสียและตัวประกอบโหลดจากสายป้อนของ กฟภ. โดย กฟภ.ร่วมกับศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และจากผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแยกตามประเภทการใช้ไฟฟ้าเพื่อประมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากค่าตัวประกอบโหลดจะได้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียสำหรับจุดติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ.

เมื่อนำไปค่าตัวประกอบโหลดไปแทนในสมการ (2.3) จะได้ค่าตัวประกอบกำลังสูญเสียของแต่ละประเภทโหลดดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวประกอบกำลังสูญเสียที่ประมาณจากค่าตัวประกอบโหลด

| ประเภทโหลด                        | ค่าตัวประกอบโหลด | ค่าตัวประกอบกำลังสูญเสีย |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------|
| หม้อแปลงจำหน่าย กฟภ.เขตชนบท       | 0.4306           | 0.2663                   |
| หม้อแปลงจำหน่าย กฟภ. ในเขตเมือง   | 0.5707           | 0.4065                   |
| หม้อแปลงจำหน่าย กฟภ. ในย่านธุรกิจ | 0.6831           | 0.5381                   |

### 3.1.5 ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่าย

ต้นทุนที่เกิดจากพลังงานไฟฟ้าสูญเสียภายในหม้อแปลงจำหน่ายประกอบด้วย พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กและพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด

(1) พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก - หม้อแปลงจำหน่ายแต่ละพิคัดขนาดจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กแตกต่างกัน สำหรับหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ. ที่ติดตั้งในระบบจำหน่ายจะมีผลรวมของพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กเมื่อพิจารณาในช่วงเวลาตลอดทั้งปี

(2) พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด - หม้อแปลงจำหน่ายแต่ละเครื่องมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้นกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียของหม้อแปลงจำหน่าย ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียของจุดจ่ายโหลด ซึ่งได้จากการประมาณพลังงานไฟฟ้าสูญเสียตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

### 3.1.6 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย ประกอบด้วย

(1) ต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรง เป็นต้นทุนคงที่จากระบบประมาณการค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง รื้อถอน ย้ายระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ซึ่งอ้างอิงจากอัตราค่าแรงขั้นต่ำและจำนวนชั่วโมงการทำงาน ซึ่ง กฟภ. จะเกิดต้นทุนดังกล่าวเมื่อหม้อแปลงจำหน่ายมีการสับเปลี่ยนเพิ่ม/ลดขนาดหม้อแปลงจำหน่ายให้เหมาะสมกับโหลด

งานวิจัยนี้กำหนดให้ค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายมีค่าเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงตามประมาณการของ กฟภ.

ตารางที่ 3.5 ค่าอุปกรณ์-ค่าแรงตามประมาณการในการรื้อถอน/ติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ.

| พิคัด<br>(kVA) | รื้อถอนหม้อแปลงจำหน่าย<br>จากจุดจ่ายโหลดเดิม |        |        | ติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดใหม่ |        |        |
|----------------|----------------------------------------------|--------|--------|---------------------------|--------|--------|
|                | ค่าอุปกรณ์                                   | ค่าแรง | รวม    | ค่าอุปกรณ์                | ค่าแรง | รวม    |
| 50             | -                                            | 122.00 | 122.00 | -                         | 244.00 | 244.00 |
| 100            | -                                            | 122.00 | 122.00 | -                         | 244.00 | 244.00 |
| 160            | -                                            | 122.00 | 122.00 | -                         | 244.00 | 244.00 |
| 250            | -                                            | 220.50 | 220.50 | -                         | 441.00 | 441.00 |
| 315            | -                                            | 220.50 | 220.50 | -                         | 441.00 | 441.00 |
| 400            | -                                            | 220.50 | 220.50 | -                         | 441.00 | 441.00 |

สำหรับค่าอุปกรณ์และค่าแรงในการรื้อถอน/ติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายที่ระบุตารางที่ 3.5 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่มีการแบ่งจ่ายโหลดสมดุลระหว่างสายป้อนแรงต่ำตามมาตรฐานการติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายและสายป้อนแรงต่ำที่ออกจากหม้อแปลงของ กฟภ. ซึ่งหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 50-160 kVA ใช้สายป้อนแรงต่ำ จำนวน 2 ชุดและหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 250-400 kVA ใช้สายป้อนแรงต่ำจำนวน 3 ชุดในรูปแบบเดียวกันทั้งหมด อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะไม่คิดต้นทุนค่าอุปกรณ์เนื่องจากสามารถสับเปลี่ยนหมุนเวียนใช้งานระหว่างจุดติดตั้งของหม้อแปลงจำหน่ายได้

(2) ต้นทุนค่าขนส่ง เป็นต้นทุนผันแปรที่ขึ้นกับระยะระหว่างจุดติดตั้งหม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ระยะขจัด (Displacement) ระหว่างพิกัดของจุดจ่ายโหลดหม้อแปลงจำหน่ายจากแผนที่ระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

สำหรับการหาระยะขจัดระหว่างพิกัดของจุดจ่ายโหลดหม้อแปลงจำหน่าย สามารถคำนวณได้จากสมการ (3.1)

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3.1)$$

โดยที่  $x_i, x_j$  คือ พิกัดในแนวแกน x ของจุดจ่ายโหลดหม้อแปลงจำหน่าย  
 $y_i, y_j$  คือ พิกัดในแนวแกน y ของจุดจ่ายโหลดหม้อแปลงจำหน่าย

3) มูลค่าสินทรัพย์หม้อแปลงจำหน่าย คือ มูลค่าสินทรัพย์ประเภทหม้อแปลงจำหน่ายตามบัญชีที่เป็นทรัพย์สินของ กฟภ. ที่อ้างอิงตามมูลค่าคงเหลือปัจจุบันของ กฟภ. สำหรับการคิดมูลค่าตามบัญชีนั้น กฟภ. กำหนดให้หม้อแปลงจำหน่ายแต่ละเครื่องจะมีระยะเวลาใช้งาน 20 ปี และจะเริ่มคิดค่าเสื่อมราคาตั้งแต่วันที่เบิกหม้อแปลงจากคลังพัสดุไปติดตั้งใช้งานในอัตราปีละ 5 เปอร์เซ็นต์ของราคาซื้อ

4) ต้นทุนค่าเสียโอกาสในการจำหน่ายไฟฟ้า เป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการงดจ่ายกระแสไฟฟ้าชั่วคราว เพื่อทำการสับเปลี่ยนหรือบำรุงรักษาหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ. ซึ่งสามารถประมาณได้จากหน่วยจำหน่ายในขณะที่ยังงดจ่ายกระแสไฟฟ้าชั่วคราวซึ่งขึ้นกับโหลด ณ ช่วงเวลาที่ปฏิบัติงาน สำหรับในทางปฏิบัติการสับเปลี่ยนหม้อแปลงใช้เวลาประมาณ 30-60 นาทีต่อหนึ่งจุดจ่ายโหลด

### 3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย

#### 3.2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 4 วัตถุประสงค์ ได้แก่

(1) ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายมีค่าน้อยที่สุด

$$\begin{aligned}
 \text{Minimize Cost} = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n CF_{ij} \delta_{ij} + C_t \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij} \delta_{ij} \\
 & + C_L \times 8760 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{iron,i} \delta_{ij} \\
 & + C_L \times 8760 \times \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{Cu,i} \times LSF_j \times UF_{ij}^2 \delta_{ij} \\
 & + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ast,j} \delta_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{opr,j} \delta_{ij}
 \end{aligned} \quad (3.2)$$



(2) ค่าเฉลี่ยของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์หม้อแปลงจำหน่ายมีค่าน้อยที่สุด

$$\text{Minimize } \text{avg}(UF_{ij}) \quad (3.3)$$

(3) ค่าเฉลี่ยระดับความเป็นสมาชิกของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายมีค่ามากที่สุด

$$\text{Maximize } \text{avg } \mu_{ij}(UF_{ij}) \quad (3.4)$$

(4) ระดับความเป็นสมาชิกของต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย และค่าเฉลี่ยระดับความเป็นสมาชิกของตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายมีค่ามากที่สุด

$$\text{Maximize } \alpha (\mu_{ij}(\text{Cost})) + (1-\alpha)(\text{avg } \mu_{ij}(UF_{ij})) \quad (3.5)$$

### 3.2.2 เงื่อนไข

เงื่อนไขที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

(1) หม้อแปลงจำหน่ายที่รื้อถอนจากจุด  $i$  สามารถติดตั้งได้ 1 ครั้ง

$$\sum_{i=1}^n \delta_{ij} = 1, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.6)$$

(2) หม้อแปลงจำหน่ายติดตั้งที่จุด  $j$  สามารถรื้อถอนได้ 1 ครั้ง

$$\sum_{j=1}^n \delta_{ij} = 1, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.7)$$

(3) ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1

$$\delta_{ij} \in \{0, 1\} \quad (3.8)$$

เมื่อ  $i$ : จุดจ่ายโหลดใหม่ (จุดที่ย้ายหม้อแปลงมาติดตั้ง)

$j$ : จุดจ่ายโหลดเดิม

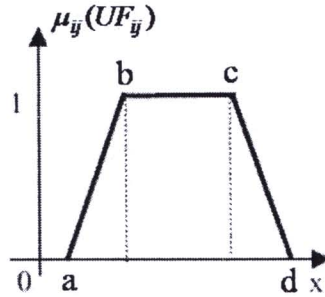
$CF_{ij}$ : ต้นทุนค่าอุปกรณ์-ค่าแรง กรณีมีการรื้อถอนหม้อแปลงจำหน่ายจากจุดจ่ายโหลดเดิมไปติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดใหม่ (บาท)

- $C_t$ : ต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยระยะทาง (บาทต่อกิโลเมตร) ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 6.5 บาทต่อกิโลเมตร
- $D_{ij}$ : ระยะทางกรณีมีการรื้อถอนหม้อแปลงจำหน่ายจากจุดจ่ายโหลดเดิมไปติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดใหม่ (กิโลเมตร)
- $C_L$ : ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยจำหน่าย (บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง) ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2.7607 บาทต่อหน่วยจำหน่าย
- $P_{iron,i}$ : กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงจำหน่ายที่จุดจ่ายโหลดใหม่ (วัตต์)
- $P_{Cu,i}$ : กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงจำหน่ายที่จุดจ่ายโหลดใหม่ (วัตต์)
- $LSF_j$ : ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ณ จุดจ่ายโหลดเดิม
- $UF_{ij}$ : ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่าย ณ จุดจ่ายโหลดใหม่ ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่ถูกย้ายจากจุดจ่ายโหลดเดิม
- $C_{ast,j}$ : มูลค่าหม้อแปลงที่เป็นทรัพย์สินของ กฟภ. ณ จุดจ่ายโหลดเดิม
- $C_{otg,j}$ : ต้นทุนค่าใช้จ่ายในที่เกิดการงดจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อสับเปลี่ยนหม้อแปลง ณ จุดจ่ายโหลดเดิม
- $\mu_{ij}(UF_{ij})$ : ระดับความเป็นสมาชิกของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์หม้อแปลงจำหน่าย (ปริมาณฟัซซี่) ณ จุดจ่ายโหลดใหม่ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่ถูกย้ายจากจุดจ่ายโหลดเดิม
- $\delta_{ij}$ : ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 กรณีการรื้อถอนหม้อแปลงจำหน่ายจากจุดจ่ายโหลดเดิมไปติดตั้งที่จุดจ่ายโหลดเดิม สำหรับกรณีอื่นมีค่าเท่ากับ 0
- $\alpha$ : ค่าคงที่ ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.3
- $n$ : จำนวนหม้อแปลงจำหน่ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จำนวนทั้งสิ้น 709 เครื่อง

### 3.2.3 ปริมาณฟัซซี่

ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่ายที่แต่ละจุดจ่ายโหลด จะต้องอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และเป็นปริมาณที่ไม่แน่นอน สามารถปรับค่าได้ ซึ่งขึ้นกับความต้องการของผู้ออกแบบระบบจำหน่ายแรงดันและระยะเวลาของการวางแผนจำหน่ายไฟฟ้า เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วหม้อแปลงจำหน่ายสามารถรองรับโหลดสูงสุดได้ในช่วงระหว่าง 0-100% โดยไม่ทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงจำหน่ายสั้นลงในกรณีปกติ

ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดระดับความพึงพอใจของค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์หม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งในที่นี้แทนด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function) ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์  $[a \ b \ c \ d]$  เท่ากับ  $[0 \ 0.3 \ 0.5 \ 1.0]$  และนำไปแทนในสมการ (3.9)



รูปที่ 3.4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของปริมาณฟัซซี่รูปสี่เหลี่ยมคางหมู

$$\mu_{ij}(UF_{ij}) = \begin{cases} 0 & UF_{ij} < a \\ \frac{UF_{ij} - a}{b - a} & a \leq UF_{ij} \leq b \\ \frac{d - UF_{ij}}{d - c} & c \leq UF_{ij} \leq d \\ 0 & d < UF_{ij} \end{cases} \quad (3.9)$$

### 3.3 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

#### 3.3.1 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อแก้ปัญหาการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่ายโดยใช้โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7.10 (R2010a) เนื่องจากมีโครงสร้างพื้นฐานการคำนวณในการปฏิบัติการในรูปเมตริกซ์และรองรับการนำเข้าข้อมูลในปริมาณมาก ซึ่งเหมาะสมกับปริมาณข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้

#### 3.3.2 การทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบสลับเปลี่ยนลำดับ (Permutation Based Genetic Algorithm) เพื่อแก้ปัญหาการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย โดยเริ่มต้นจากการเข้ารหัสด้วยตัวเลขจำนวนเต็มแทนตำแหน่งของหม้อแปลงที่จะถูกสับเปลี่ยนและกำหนดประชากรเริ่มต้นโดยแทนด้วยค่าเดิมก่อนการสับเปลี่ยนหม้อแปลง แล้วใช้กระบวนการหาคำตอบโดยตัวปฏิบัติการทางสาย

พันธุ์ด้วยการครอสโอเวอร์และการมิวเทชัน จนได้ชุดคำตอบของโครโมโซมที่จะนำไปหาค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด

จากนั้นจึงนำชุดโครโมโซมที่ได้มาผ่านการเลือกแบบจัดลำดับ (Ranking Selection) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการการแทนที่ แล้วจึงวนกลับไปผ่านตัวปฏิบัติการเพื่อหาโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดต่อไป

3.3.3 การเข้ารหัสโครโมโซมแบบสลับเปลี่ยนลำดับ (Permutation Encoding)

ในงานวิจัยนี้ใช้การเข้ารหัสของโครโมโซมแบบสลับเปลี่ยนลำดับโดยการเข้ารหัสด้วยตัวเลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 ถึง 709 ซึ่งแสดงถึงหม้อแปลงจำหน่ายจากจุดจ่ายโหลดเดิมที่นำมาสับเปลี่ยนโดยอ้างอิงถึงแต่ละตำแหน่งของจุดจ่ายโหลดหม้อแปลงจำหน่ายด้วยตำแหน่งที่ยีนส์ในโครโมโซมจำนวน 709 ตำแหน่ง

| ตำแหน่งที่ (จุดจ่ายโหลดที่)              | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | ... | 709 |
|------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|
| จุดจ่ายโหลดเดิมของหม้อแปลงจำหน่ายที่นำมา | 3 | 2 | 5 | 4 | 9 | 7 | 6 | ... | 1   |

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการเข้ารหัสของโครโมโซม

ตัวอย่างการเข้ารหัสของโครโมโซมแสดงดังรูปที่ 3.3 ได้แก่ หม้อแปลงจำหน่ายจากจุดจ่ายโหลดที่ 3 จะถูกรื้อถอนและนำมาติดตั้งที่จุดติดตั้งที่ 1

3.3.4 ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมและประชากรเริ่มต้น

ในงานวิจัยนี้ ใช้สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นสมการฟังก์ชันค่าความเหมาะสม ได้แก่ สมการ (3.2) ถึง (3.5) และกำหนดให้ชุดหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งอยู่เดิมเป็นค่าเริ่มต้น

3.3.5 การครอสโอเวอร์

3.3.5.1 การครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว

การครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว (One-point Crossover) เป็นการสลับสายพันธุ์ระหว่างประชากรรุ่นพ่อแม่กับประชากรรุ่นพ่อแม่ โดยโครโมโซมของประชากรรุ่นลูกหลานจะมีสายพันธุ์ของแต่ละประชากรต้นกำเนิดอยู่อย่างละหนึ่งส่วน สำหรับจุดตัดในการทำครอสโอเวอร์ได้มาจากการสุ่มเลือก ขั้นตอนการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวมียังนี้

- (1) สุ่มเลือกยีนส์จากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่
- (2) คัดลอกชุดยีนส์ที่อยู่หน้าตำแหน่งที่สุ่มได้จากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ (1) และคัดลอกชุดยีนส์ที่อยู่หลังตำแหน่งที่สุ่มได้จากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ (2)

(3) นำชุดยีนส์ที่ได้ทั้งสองมารวมกันเป็นโครโมโซมรุ่นลูก

(4) ตรวจสอบและค้นหายีนส์ที่มีตัวเลขจำนวนเต็มที่ซ้ำ แล้วแทนที่ด้วยตัวเลขจำนวนเต็มที่ไม่มีในโครโมโซมโดยการเติมแบบเรียงจากซ้ายไปขวาของโครโมโซม

ตัวอย่างการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียวแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างรูปแบบการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว

### 3.3.5.2 การครอสโอเวอร์แบบวงรอบ

การครอสโอเวอร์แบบวงรอบ (Cycling Crossover) กระทำโดยการอ้างอิงตำแหน่งระหว่างโครโมโซมของประชากรต้นกำเนิดเป็นจนครบวงรอบเมื่อตัวเลขที่ทำการสุ่มได้ในครั้งแรกกับตัวเลขของตำแหน่งสุดท้ายที่อ้างอิงเป็นเลขเดียวกัน ขั้นตอนการครอสโอเวอร์แบบวงรอบมีดังนี้

(1) เลือก/สุ่มเลือกตำแหน่งยีนส์จากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่

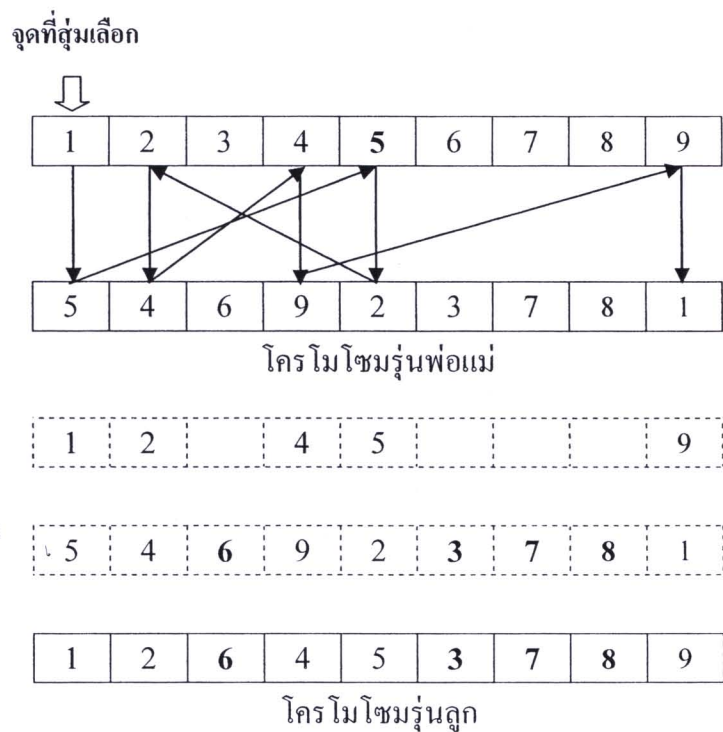
(2) วางตัวเลขของยีนส์จากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ลงที่ตำแหน่งยีนส์เดียวกันของโครโมโซมรุ่นลูก

(3) ตรวจสอบยีนส์ที่ตำแหน่งตรงกันบนโครโมโซมรุ่นพ่อแม่อีกตัวหนึ่ง จากนั้นนำตัวเลขของยีนส์นี้ไปค้นหาตัวเลขเดียวกันที่โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ว่าอยู่ที่ตำแหน่งใด

(4) ทำซ้ำตามข้อที่ (2) และ (3) จนกว่าตัวเลขที่ทำการสุ่มได้ในครั้งแรกกับตัวเลขของตำแหน่งสุดท้ายที่อ้างอิงเป็นเลขเดียวกัน

(5) สลับตำแหน่งยีนส์ระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ในตำแหน่งยีนส์ที่ไม่อยู่ในวงรอบ

ตัวอย่างการครอสโอเวอร์แบบวงรอบแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างรูปแบบการครอสโอเวอร์แบบวงรอบ

3.3.6 การมิวเทชันแบบสับเปลี่ยน

การมิวเทชันเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนส์ภายในโครโมโซมให้มีความแปลกใหม่มากขึ้น แต่สำหรับปัญหาการสลับเปลี่ยนลำดับนั้น การมิวเทชันนิยมใช้การสับเปลี่ยนระหว่างตำแหน่งของยีนส์ในโครโมโซมทั้งเป็นคู่และแบบสลับขกลุ่มเป็นชุด

การมิวเทชันในงานวิจัยนี้ใช้การมิวเทชันแบบสับเปลี่ยน (Swap Mutation) ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

- (1) กำหนดจำนวนคู่ของยีนส์ที่จะทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง
- (2) สุ่มเลือกยีนส์โครโมโซมจากประชากรรุ่นพ่อแม่
- (3) สุ่มจุดที่จะทำการมิวเทชันแล้วทำการสับเปลี่ยนระหว่างยีนส์ในโครโมโซม

ตัวอย่างการมิวเทชันแบบแลกเปลี่ยนแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างรูปแบบการมิวเทชันที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับการมิวเทชั่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เพิ่มเทคนิคการป้องกันการเกิดการสับเปลี่ยนระหว่างหม้อแปลงจำหน่ายชนิดเดียวกันเพื่อลดระยะเวลาการค้นหาคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรม

### 3.3.7 การคัดเลือกแบบจัดอันดับ

การคัดเลือกแบบจัดอันดับ (Ranking Selection) เป็นการจัดอันดับเพื่อเลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมที่ดี โดยประชากรที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจะมีโอกาสถูกเลือกมากที่สุด โดยโครโมโซมจะถูกจัดเรียงให้มีอันดับ  $r$  ตามค่าความเหมาะสม โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจะมีอันดับ  $N$  โดยที่  $N$  คือจำนวนโครโมโซมทั้งหมด ( $N$  เป็นค่าอันดับที่มากที่สุด) ในขณะที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ด้อยที่สุดจะมีอันดับ 1

วิธีการเลือกแบบจัดอันดับมีข้อดีคือ โอกาสในการถูกคัดเลือกจะไม่แปรผันกับขนาดของค่าความเหมาะสมแต่จะขึ้นกับอันดับของโครโมโซม อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวจะมีผลทำให้การเข้าสู่คำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมช้า เนื่องจากโครโมโซมที่ด้อยกว่ามีโอกาสที่ดีขึ้นในการถูกคัดเลือกเมื่อเทียบกับวิธีการเลือกแบบอื่น