

วิธีการจัดกลุ่มใหม่ (วิธีความน่าจะเป็นฟัซซีซิมินสองขั้นตอน) สำหรับจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระ

A Novel Clustering Methods (Two-stage Fuzzy-Possibilistic C-Means) for Load Profile Clustering

กรัณย์ ตันทวีวงศ์ และ พิสุทธิ รัชศักดิ์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Email: karun.tan@gmail.com, pisutr@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้แนะนำเสนอวิธีจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ ด้วยวิธีความน่าจะเป็นฟัซซีซิมินสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกโพรไฟล์ภาระได้ 3 กลุ่มหลัก โดยพิจารณาจากค่า XB ที่เป็นดัชนีในการเลือกจำนวนกลุ่ม พบว่ามีกลุ่มย่อยรวม 11 กลุ่มย่อย และกระบวนการขั้นที่ 2 โดยวิธีทดสอบสมมติฐาน พิจารณาความคล้ายกันหรือแตกต่างกันของสองกลุ่มย่อย ทำให้สามารถแสดงกลุ่มหลักที่แท้จริงของโพรไฟล์ภาระได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเป็น 9 กลุ่มที่มีลักษณะแตกต่างกัน เห็นได้ว่าเป็นวิธีการจัดกลุ่มที่เป็นประโยชน์ซึ่งสามารถจำแนกกลุ่มโพรไฟล์ภาระได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ

การจัดกลุ่ม โพรไฟล์ภาระ ความน่าจะเป็นฟัซซีซิมินสองขั้นตอน

Abstract

This paper proposed a novel clustering methods (two-stage fuzzy-possibilistic C-means) for automobile manufacturing load profile clustering. In the first stage, this method is using XB validation index to determine the number of load profile group. The results from the first stage are obtained as 3 main-clusters and 11 sub-clusters. In the second stage, a goodness of fit is used to consider the similarity of two sub-clusters. Finally, the results are obtained as distinct 9 clusters. This proposed method is useful for load profile clustering.

Keywords

clustering, load profile, two-stage fuzzy-possibilistic C-Means

1. คำนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ภาคการผลิตไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องวางแผนทั้งในส่วนของการผลิต หรือการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด ดังนั้นเพื่อให้เกิดผลประโยชน์ต่อทั้งฝ่ายการไฟฟ้าฯ และฝ่ายผู้ใช้ไฟฟ้า การไฟฟ้าฯจึงต้องทราบว่าต้นทุนในการผลิตหรือการส่งจ่ายไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นจากอะไรบ้าง สามารถปรับปรุงหรือแก้ไขในส่วนใดได้บ้าง และทางฝ่ายผู้ใช้ไฟฟ้าเองก็ต้องทราบว่าจะสามารถใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างไรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะส่งผลต่อรายจ่ายค่าไฟฟ้าที่ลดลงตามไปด้วย

บทความนี้จึงได้ศึกษาวิธีการจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระ (Load Profile) ของผู้ใช้ไฟฟ้า ว่าสามารถจัดกลุ่มลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างไรบ้าง เพื่อที่การไฟฟ้าสามารถวางแผนได้ว่าจะผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าอย่างไร ส่วนทางผู้ใช้ไฟฟ้าเองก็ได้ทราบถึงลักษณะการใช้ไฟฟ้าของตนเองว่ามีการใช้ไฟฟ้าอย่างไร สามารถปรับปรุงแก้ไขลักษณะการใช้ไฟฟ้าได้อย่างไรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งหากมีการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าได้ดีแล้ว การไฟฟ้าฯก็สามารถที่จะชะลอหรือลดการลงทุนในส่วนของการสร้างโรงจักรไฟฟ้าและการสร้างระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเพิ่มเพื่อรองรับการใช้ไฟฟ้าที่สูงในบางช่วงเวลา ซึ่งส่งผลโดยตรงทำให้ค่าไฟฟ้ามีราคาถูก เนื่องจากการไฟฟ้าไม่ต้องลงทุนเพิ่มในส่วนดังกล่าว

ปัญหาในการจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระเพื่อใช้เป็นตัวแทนของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภทนั้น มีผู้สนใจนำเสนอวิธีการต่างๆ เช่น การไฟฟ้าของประเทศไทยจัดกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งใช้ไฟไม่เกิน 100 KW [1] การจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระของผู้ใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยได้หวั่น [2-3]

บทความนี้นำเสนอวิธีการจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมหนึ่งจำนวน 11 ราย ใช้ข้อมูลย้อนหลัง 1 ปีโดยใช้วิธี Two-stage Fuzzy-Possibilistic C-Means (FPCM) ซึ่งประสิทธิภาพของ FPCM มีบทความที่ได้นำเสนอไว้ [4] หลังจากจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระแล้ว มีการใช้ดัชนี Xie and Beni (XB) เพื่อหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดกับชุดข้อมูล

2. การจัดกลุ่ม (Clustering)

วิธีการในการจัดกลุ่มนั้น โดยทั่วไปจะมี 2 วิธีหลักๆ คือ Crisp Partitioning และ Soft Partitioning ซึ่ง Crisp Partitioning นั้น ข้อมูลแต่ละข้อมูลจะขึ้นอยู่กับกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น โดยจะมีเส้นแบ่งระหว่างกลุ่มที่แน่นอน ในขณะที่ข้อมูลส่วนใหญ่มีความคลุมเครือ ทำให้ไม่สามารถที่จะแบ่งให้อยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งได้อย่างชัดเจน เพราะฉะนั้น Soft Partitioning จึงถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา

2.1 การจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Data Pre-Processing)

ข้อมูลโพรไฟล์ภาระได้มาจากเครื่องวัดแบบดิจิทัล ซึ่งเก็บค่าโพรไฟล์ภาระทุกๆ 15 นาทีก่อนที่จะจัดกลุ่ม ต้องกำจัดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ออกไปก่อน เพราะจะส่งผลต่อการจัดกลุ่มที่ผิดพลาดได้ ตัวอย่างของข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ เช่น มีการบันทึกค่าโพรไฟล์ภาระเป็น 0 ตลอดทั้งวัน เป็นต้น จากนั้นจะต้องบรรทัดฐานข้อมูล (Normalization) เพื่อที่จะปรับให้ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในช่วงเดียวกัน ดังสมการที่ 1

$$x_l = \frac{x_{li}}{x_{max}} \quad (1)$$

โดยที่ x_l คือ ข้อมูลโพรไฟล์ภาระที่บรรทัดฐานแล้ว

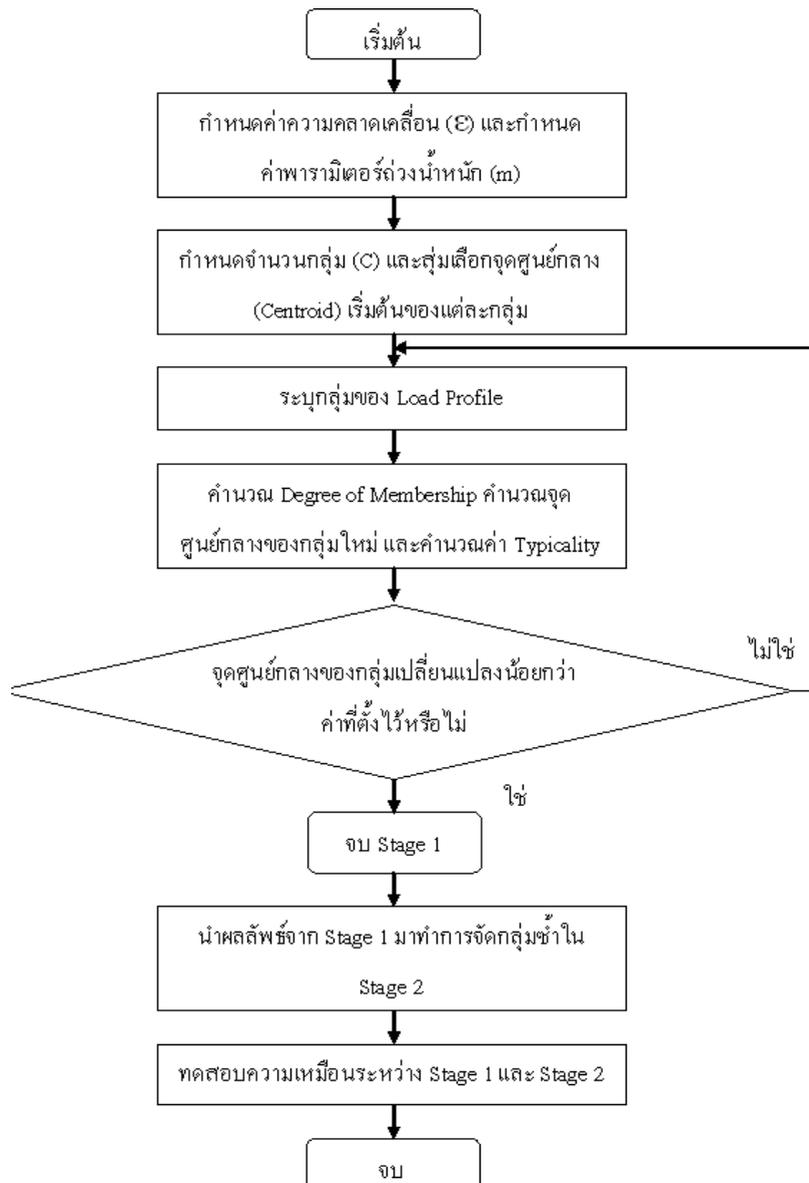
x_{li} คือ ข้อมูลโพรไฟล์ภาระตัวที่ i

$x_{_max}$ คือ ข้อมูลโพรไฟล์ภาระที่มีค่ามากที่สุดในช่วง

2.2 วิธีการฟัซซีซิมินสองขั้นตอน (Two-stage Fuzzy-Possibilistic C-Means)

กระบวนการของ Fuzzy-Possibilistic C-Means นั้นคล้ายคลึงกับ Fuzzy C-Means แต่จะมีข้อดีคือ

Fuzzy-Possibilistic C-Means สามารถจัดการกับข้อมูลที่เป็น outlier ได้ดีกว่า ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า [5] ขั้นตอนการจัดกลุ่มโดยวิธี Two-stage Fuzzy-Possibilistic C-Means ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการจัดกลุ่มโดยวิธี Two-stage Fuzzy-Possibilistic C-Means

คำนวณค่าระดับความเป็นสมาชิก (Degree of membership : u_{ik}) สำหรับแต่ละจุดข้อมูลของโพรไฟล์ภาระ ได้จากสมการที่ 2

$$u_{ik} = \left[\sum_{j=1}^C \left(\frac{D_{ik}}{D_{jk}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \quad (2)$$

โดยที่ D_{ik} คือ ระยะทางระหว่างข้อมูลตัวที่ k กับกลุ่มที่ i

D_{jk} คือ ระยะทางระหว่างข้อมูลตัวที่ k กับกลุ่มที่ j

คำนวณระยะทางระหว่างจุดข้อมูลกับจุดศูนย์กลางแต่ละกลุ่ม ใช้ Euclidean distance ดังสมการที่ 3

$$D_{ik}^2 = \|x_k - V_i\|^2 \quad (3)$$

โดยที่ V_i คือ จุดศูนย์กลางของกลุ่มที่ i

x_k คือ ข้อมูลโพรไฟล์ภาระตัวที่ k

คำนวณค่า Typicality (t_{ik}) ซึ่ง $\sum_{k=1}^n t_{ik} = 1$ ได้จากสมการที่ 4

$$t_{ik} = \left[\sum_{j=1}^n \left(\frac{D_{ik}}{D_{ij}} \right)^{\frac{2}{\eta-1}} \right]^{-1} \quad (4)$$

โดยที่ n คือ จำนวนโพรไฟล์ภาระ

η คือ ค่า Weighting exponent

คำนวณจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่ i ได้จากสมการที่ 5

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^m + t_{ik}^m) x_k}{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^m + t_{ik}^m)} \quad (5)$$

เข้าสู่กระบวนการ Minimize Objective function ดังสมการที่ 6

$$\min_{(U,T,V)} \{J_m(U,T,V) = \sum_{i=1}^C \sum_{k=1}^n (u_{ik}^m + t_{ik}^\eta) D_{ik}^2\} \quad (6)$$

โดยที่ U คือ ค่า Degree of membership

T คือ ค่า Typicality

V คือ จุดศูนย์กลางของกลุ่ม

2.3 การตรวจสอบผลการจัดกลุ่ม (Cluster Validity for FPCM)

ปัญหาสำคัญในการจัดกลุ่มคือ การเลือกจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลมากที่สุดมีการเสนอดัชนีที่ใช้ในการเลือกจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดอย่างมากมาย [6] แต่ในบทความนี้ใช้ดัชนีที่เป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง คือ Xie and Beni (XB) [7-8] ดังสมการที่ 7

$$XB = \sum_{i=1}^C \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik}^2 + t_{ik}^2) \|x_k - V_i\|^2}{n \min_{i \neq j} \|V_k - V_i\|^2} \quad (7)$$

จำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุด คือ การทำให้ XB มีค่าน้อยที่สุด

2.4 การทดสอบภาวะสารูปสนิทธิ (Goodness of Fit)

เป็นการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis) โดยเลือกใช้วิธี Kolmogorov-Smirnov Two-Sample Test [9] ซึ่งเป็นการทดสอบกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม เป็นกระบวนการทดสอบว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้เป็นจริงหรือไม่ โดยการทดสอบระยะห่าง (Distance Test) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

- H_0 คือ ประชากรกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีลักษณะเหมือนกัน

- H_1 คือ ประชากรกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีลักษณะต่างกัน

โดยคำนวณหาค่า D จากสมการที่ 8

$$D = \text{maximum}|S_1(X) - S_2(X)| \quad (8)$$

โดยที่ D คือ ระยะทางระหว่างกลุ่มตัวอย่าง $S_1(X)$ และ $S_2(X)$ เป็นฟังก์ชันความถี่สะสมสัมพัทธ์ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1 และ 2

กรณีที่กลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่ [10] ($n_1 > 40, n_2 > 40$ โดยที่ n_1, n_2 ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน) และกำหนดระดับนัยสำคัญ = 0.001 จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า D ที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤติของ D ($D_{critical}$) ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 9

$$D_{critical} = 1.95 \sqrt{\frac{n_1+n_2}{n_1 n_2}} \quad (9)$$

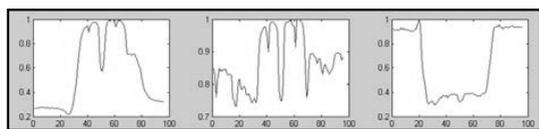
3. กรณีศึกษา (Case Study)

ในบทความนี้จะปรับจำนวนกลุ่มตั้งแต่ C=3 จนถึง C=8 เพื่อหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลมากที่สุด โดยใช้ดัชนีที่กล่าวถึงในข้อ 2.2 เป็นตัววัดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าดัชนี XB เมื่อปรับจำนวนกลุ่มตั้งแต่ 2-8

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| XB | 0.201 | 0.520 | 3.835 | 3.917 | 4.128 | 6.140 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

จากตารางที่ 1 XB ให้ค่าน้อยที่สุดที่ C=3 ดังนั้นจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนคือ 3 กลุ่ม ซึ่งมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 Typical Load Profile จากการจัดกลุ่มครั้งแรก

พิจารณาผลการจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระที่ได้ตั้งสมมติฐานว่า ตัวแทนในแต่ละกลุ่มนั้นมีกลุ่มย่อย (Sub-cluster) แฝงอยู่อีก จึงอาจทำให้ไม่ได้ตัวแทนกลุ่มที่ถูกต้อง เพราะฉะนั้นจึงจัดกลุ่มซ้ำ (Re-clustering) เพื่อให้ได้รูปแบบที่แท้จริงของโพรไฟล์ภาระ โดยใช้ XB เป็นดัชนีในการเลือกจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 ค่าดัชนี XB ของกลุ่มที่ 1 เมื่อจัดกลุ่มซ้ำ และปรับจำนวนกลุ่มตั้งแต่ 3-8

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C=3 | C=4 | C=5 | C=6 | C=7 | C=8 |
| XB | 1.668 | 0.850 | 1.587 | 1.777 | 1.788 | 2.936 |

ตารางที่ 3 ค่าดัชนี XB ของกลุ่มที่ 2 เมื่อจัดกลุ่มซ้ำ และปรับจำนวนกลุ่มตั้งแต่ 3-8

| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C=3 | C=4 | C=5 | C=6 | C=7 | C=8 |
| XB | 0.254 | 0.193 | 1.852 | 2.136 | 1.841 | 3.580 |

ตารางที่ 4 ค่าดัชนี XB ของกลุ่มที่ 3 เมื่อจัดกลุ่มซ้ำ และปรับจำนวนกลุ่มตั้งแต่ 3-8

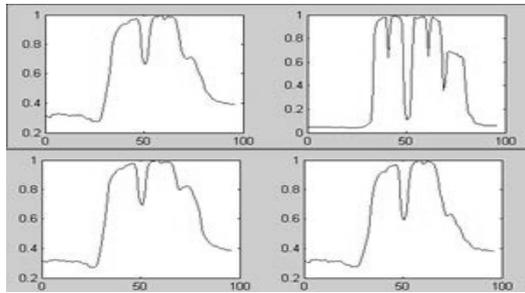
| | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C=3 | C=4 | C=5 | C=6 | C=7 | C=8 |
| XB | 2.740 | 3.295 | 7.452 | 7.211 | 8.279 | 4.339 |

จากตารางที่ 2 การจัดกลุ่มซ้ำของกลุ่มที่ 1XB ให้ค่าน้อยที่สุดที่ C=4 ดังนั้นจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 4 กลุ่ม จากตารางที่ 3 การจัดกลุ่มซ้ำของกลุ่มที่ 2XB ให้ค่าน้อยที่สุดที่ C=4 ดังนั้นจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 4 กลุ่ม และจากตารางที่ 4 การจัดกลุ่มซ้ำของกลุ่มที่ 3 XB ให้ค่าน้อยที่สุดที่ C=3 ดังนั้นจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมคือ 3 กลุ่ม ผลของจำนวนกลุ่มย่อยแสดงดังตารางที่ 5

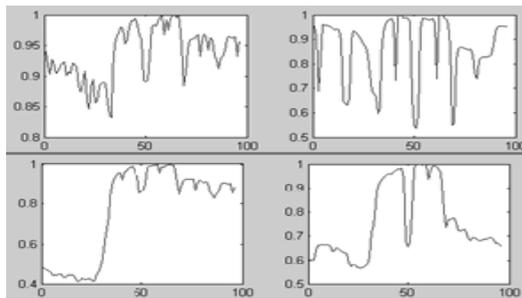
ตารางที่ 5 จำนวนกลุ่มย่อยของแต่ละกลุ่มหลัก หลังจากจัดกลุ่มซ้ำ

| | | | |
|--------------|---|---|---|
| Main Cluster | 1 | 2 | 3 |
| Sub-cluster | 4 | 4 | 3 |

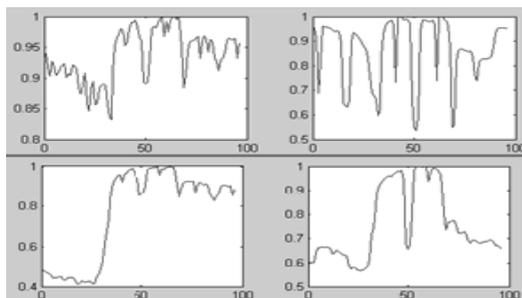
จากผลการจัดกลุ่มซ้ำดังตารางที่ 5 แสดง Typical Load Profile ดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3 Typical Load Profile ของกลุ่มที่ 1 หลังจากจัดกลุ่มย่อย



ภาพที่ 4 Typical Load Profile ของกลุ่มที่ 2 หลังจากจัดกลุ่มย่อย



ภาพที่ 5 Typical Load Profile ของกลุ่มที่ 3 หลังจากจัดกลุ่มย่อย

จากผลการจัดกลุ่มซ้ำสามารถจัดกลุ่มได้ทั้งสิ้น 11 กลุ่ม แต่เมื่อพิจารณาพบว่าบางกลุ่มมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าในลักษณะคล้ายกันหรือลักษณะใกล้เคียงกันสามารถรวมอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ จึงมีการใช้ Goodness of fit มาเป็นเครื่องมือในการตัดสินว่าลักษณะการใช้ไฟฟ้ากลุ่มใดบ้างที่มีลักษณะคล้ายกันหรือต่างกันดังตารางที่ 6-8

ตารางที่ 6 ค่า D ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มหลักที่ 1

| | C1_1 | C1_2 | C1_3 | C1_4 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| C1_1 | 0 | 0.1875 | 0.2292 | 0.5417 |
| C1_2 | 0.1875 | 0 | 0.2188 | 0.5417 |
| C1_3 | 0.2292 | 0.2188 | 0 | 0.5313 |
| C1_4 | 0.5417 | 0.5417 | 0.5313 | 0 |

จากตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาที่ค่า $D < D_{critical}$ สามารถสรุปได้ว่า กลุ่มย่อยที่ 1 เหมือนกับกลุ่มย่อยที่ 2 กลุ่มย่อยที่ 1 เหมือนกับกลุ่มย่อยที่ 3 และกลุ่มย่อยที่ 2 เหมือนกับกลุ่มย่อยที่ 3 ดังนั้นในกลุ่มหลักที่ 1 จะเหลือกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม

ตารางที่ 7 ค่า D ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของกลุ่มหลักที่ 2

| | C2_1 | C2_2 | C2_3 | C2_4 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| C2_1 | 0 | 0.375 | 0.3542 | 0.6771 |
| C2_2 | 0.375 | 0 | 0.3125 | 0.4375 |
| C2_3 | 0.3542 | 0.3125 | 0 | 0.3333 |
| C2_4 | 0.6771 | 0.4375 | 0.3333 | 0 |

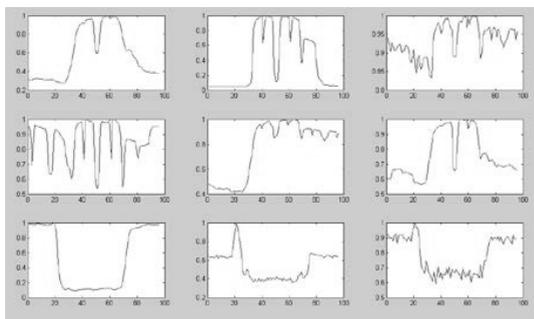
จากตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาที่ค่า $D < D_{critical}$ ไม่มีกลุ่มย่อยใดมีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นในกลุ่มหลักที่ 2 มี 4 กลุ่มย่อย

ตารางที่ 8 ค่า D ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน
ของกลุ่มหลักที่ 3

| | C3_1 | C3_2 | C3_3 |
|------|--------|--------|--------|
| C3_1 | 0 | 0.5313 | 0.9479 |
| C3_2 | 0.5313 | 0 | 0.5 |
| C3_3 | 0.9479 | 0.5 | 0 |

จากตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาที่ค่า $D < D_{critical}$ ไม่มีกลุ่มย่อยใดมีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นในกลุ่มหลักที่ 3 มี 3 กลุ่มย่อย

เพราะฉะนั้น สามารถสรุปได้ว่าการจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระ 2 รอบ จะได้จำนวนกลุ่มทั้งหมด 9 กลุ่ม ดังภาพที่ 6 คือมาจากกลุ่มหลักที่ 1 จำนวน 2 กลุ่ม มาจากกลุ่มหลักที่ 2 จำนวน 4 กลุ่ม และมาจากกลุ่มหลักที่ 3 จำนวน 3 กลุ่ม



ภาพที่ 6 Typical Load Profile ของกลุ่ม
อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์

4. สรุป

จากการจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระโดยใช้วิธี Two-stage fuzzy-possibilistic C-means พบว่าในขั้นที่ 1 สามารถจัดกลุ่มโพรไฟล์ภาระได้ 3 กลุ่ม เมื่อนำโพรไฟล์ภาระมาจัดกลุ่มซ้ำเพื่อหารูปแบบที่แท้จริงของโพรไฟล์ภาระ และใช้ Goodness of Fit เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบความคล้ายกัน สามารถจัดกลุ่มได้ทั้งหมด 9 กลุ่ม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดกลุ่ม

รอบเดียว ซึ่งได้จำนวนกลุ่มคือ 3 กลุ่ม พบว่าการจัดกลุ่มซ้ำสามารถแสดงถึงกลุ่มหลักที่แท้จริงของโพรไฟล์ภาระได้ชัดเจนกว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการจัดกลุ่มระหว่างวิธีที่มีการเสนอมาก่อนหน้านี้กับวิธีที่นำเสนอในบทความนี้ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 9 ซึ่งเห็นได้ว่าวิธี Two-stage fuzzy C-means สามารถจัดกลุ่มได้ 12 กลุ่ม แต่เมื่อพิจารณาพบว่ารูปแบบของบางกลุ่มมีลักษณะคล้ายกันมากสามารถที่จะจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ เพราะฉะนั้น วิธี Two-stage fuzzy-possibilistic C-means ที่ได้นำเสนอในบทความนี้เป็นวิธีการจัดกลุ่มที่เหมาะสม คือ ให้ผลการจัดกลุ่มที่กระชับและครอบคลุมกว่า

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบการจัดกลุ่ม
โพรไฟล์ภาระ

| ลำดับที่ | วิธีการจัดกลุ่ม | จำนวนกลุ่ม |
|----------|---------------------------------------|------------|
| 1 | Fuzzy C-Means | 3 |
| 2 | Fuzzy-Possibilistic C-Means | 3 |
| 3 | Two-stage Fuzzy C-Means | 12 |
| 4 | Two-stage Fuzzy-Possibilistic C-Means | 9 |

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Allera S. V. and Horsburgh A. G. 1998. Load Profiling for Energy Trading and Settlements in the UK Electricity Markets. In DistribuTECH Europe DA/DSM Conference. London.
- [2] Chen C. S., Hwang J. C., Huang C. W., Tzeng Y. M., and Chu M. Y. 1996. Determination of Customer Load Characteristics by Load Survey System at Taipower. In IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 11.
- [3] Chen C. S., Hwang J. C., and Huang C. W. 1997. Application of Load Survey Systems to Proper Tariff Design. In IEEE Transaction in Power System, vol. 12.
- [4] Zakaria Z., Lo K. L. and Sohod M. H. 2006. Application of Fuzzy Clustering to Determine Electricity Customers' Load Profiles. In Power and Energy Conference. IEEE Int., pp. 99-103.
- [5] Sathiracheewin S. and Surapatana V. 2011. Daily Typical Load Clustering of Residential Customers. In 8th Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand Conference, pp. 797-800.
- [6] Hyun, S. R. and Kyung W. O. 1996. A Validity Measure for Fuzzy Clustering and Its Use in Selecting Optimal Number of Clusters. In 5th IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Seoul, Korea, vol. 2, pp. 1020-1025.
- [7] Xie X. L. and Beni G. 1991. A Validity Measure for Fuzzy Clustering. In IEEE Transaction on Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-13, no. 8.
- [8] Zhang C., Zhou Y. and Martin T. 2008. A Validity Index for Fuzzy and Possibilistic C-means Algorithm. Proceedings of IPMU'08, pp.877-882.
- [9] นิภา ศรีไพโรจน์. 2533. สถิตินอนพาราเมตริก. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท โอเดียนสโตร์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [10] ชินกร น้อยคำยาง. 2552. การเปรียบเทียบผลการทดสอบสถิติพาราเมตริกและนอนพาราเมตริกในการทดสอบความแตกต่างระหว่างประชากรสองกลุ่มที่อิสระจากกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.