

บทที่ 4

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีฟuzzyเซตในขั้นตอนการประเมินค่าความเชื่อถือได้ และการหาค่ากำลังการผลิตที่เหมาะสมของระบบผลิตไฟฟ้า

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของฟuzzyเซตในรูปของตัวเลขฟuzzyสำหรับใช้ในการจำลองและแสดงถึงความไม่แน่นอนของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในขั้นตอนของการประเมินค่าความเชื่อถือได้และการหาค่ากำลังการผลิตที่เหมาะสม ได้แก่ ค่าระยะเวลาที่อุปกรณ์จะเสีย (TTF) และค่าระยะเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ (TTR) ที่ใช้ในแบบจำลองของระบบไฟฟ้า ค่าของโหนดที่ได้จากการพยากรณ์ในแบบจำลองของโหนด และค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากไฟฟ้ายดับ (Customer interruption cost) สำหรับใช้ในการคำนวณฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (Composite Customer Damage Function: CCDF) ตามลำดับ

4.1 การคิดผลของความไม่แน่นอนในการประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้แบบดั้งเดิม

จากบทที่ 3 จะพบว่า โดยปกติค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เราพิจารณาในการสร้างแบบจำลองของระบบผลิต และแบบจำลองของโหนดจะมีค่าที่ไม่แน่นอน ดังนั้นจึงมีการเสนอวิธีที่จะแสดงลักษณะของความไม่แน่นอนในค่าพารามิเตอร์ต่างๆเหล่านี้โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น เพื่อที่จะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมมากขึ้น ดังแสดงต่อไปนี้

4.1.1 การคิดผลของความไม่แน่นอนของค่า FOR (Forced outage rate) [1]

วิธีการในการคิดผลของความไม่แน่นอนของค่า FOR ที่มีต่อระบบผลิตไฟฟ้าแบบดั้งเดิมนั้นสามารถกระทำได้โดยการสร้างตาราง COPT แบบปกติ โดยใช้เทคนิค Recursive พร้อมทั้งคำนวณค่าความแปรปรวน (Variance) ของค่าความน่าจะเป็นแบบสะสม (Cumulative probability) ในแต่ละระดับกำลังการผลิตในตาราง COPT ซึ่งจะได้ผลลัพธ์สุดท้าย คือ ตาราง COPT พร้อมทั้งเมตริกซ์ของค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance matrix) ผลลัพธ์ที่ได้นี้จะถูกนำไปรวมกับแบบจำลองของโหนดเพื่อที่จะคำนวณค่า LOLE และค่าความแปรปรวนของ LOLE นั้นออกมา

ด้วยวิธีการดังกล่าวเราสามารถสร้างตาราง COPT และ เมตริกซ์ของค่าความแปรปรวนร่วมได้โดยการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าไปในระบบที่พิจารณาที่ละเครื่อง โดย

$$P(X) = (1 - r)P'(X) + rP'(X - C) \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Cov}[P(X), P(Y)] &= [(1 - r)^2 + v]\text{Cov}[P'(X), P'(Y)] \\ &+ [r(1 - r) - v]\{\text{Cov}[P'(X), P'(Y - C)] \\ &+ \text{Cov}[P'(X - C), P'(Y)]\} \\ &+ [r^2 + v]\text{Cov}[P'(X - C), P'(Y - C)] \\ &+ v[P'(X)P'(Y) - P'(X)P'(Y - C) \\ &- P'(X - C)P'(Y) + P'(X - C)P'(Y - C)] \end{aligned} \quad (4.2)$$

เมื่อ X และ Y คือ ขนาดของกำลังการผลิตที่เกิดขัดข้อง (MW)

$P(X)$ คือ ความน่าจะเป็นของสถานะการขาดกำลังการผลิต X MW หรือมากกว่าหลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาในระบบ

$P'(X)$ คือ ความน่าจะเป็นของสถานะการขาดกำลังการผลิต X MW หรือมากกว่าก่อนเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาในระบบ

$\text{Cov}[P(X), P(Y)]$ คือ ค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของ $P(X)$ และ $P(Y)$ หลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาในระบบ

$\text{Cov}[P'(X), P'(Y)]$ คือ ค่าความแปรปรวนร่วม (Covariance) ของ $P'(X)$ และ $P'(Y)$ ก่อนเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ามาในระบบ

r คือ ค่า FOR ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังได้รับการพิจารณาเพิ่มเข้ามาในระบบ

C คือ ค่าขนาดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังพิจารณานั้น

v คือ ค่าความแปรปรวน (Variance) ของ FOR ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังเพิ่มเข้ามาในระบบ

โดยมีค่าเริ่มต้น คือ $P(X \leq 0) = 1.0$, $P(X > 0) = 0$ และ $\text{Cov}[P(X), P(Y)] = 0$ สำหรับทุกๆค่า X และ Y หลังจากนั้นเราจะคำนวณค่าเฉลี่ยของ LOLE และ ค่าความแปรปรวนของค่า LOLE ได้จากสมการที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

$$E[LOLE] = \sum_{i=1}^N E[P_i(C_i - X_i)] \quad (4.3)$$

$$\text{Var}[LOLE] = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \text{Cov}[P_i(C_i - X_i), P_j(C_j - X_j)] \quad (4.4)$$

เมื่อ N = ระยะเวลาที่พิจารณา (วัน)

C_i = จำนวนกำลังการผลิตที่มีของวันที่ i

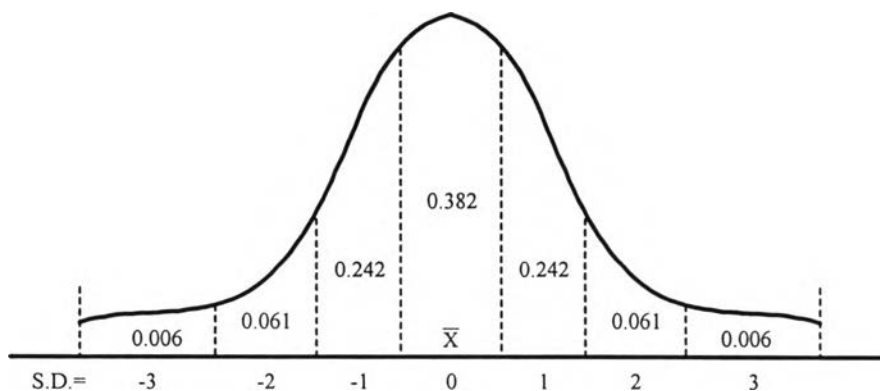
X_i = ค่าโหลดสูงสุดจากการพยากรณ์ในวันที่ i

$E[P_i]$ = ค่าคาดหวัง (Expected value) ของความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญเสียโหลดในวันที่ i

$\text{Cov}[P_i, P_j]$ = ความแปรปรวนร่วมของความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญเสียโหลดในวันที่ i และ j

4.1.2 การคิดผลของความไม่แน่นอนของโหลด [1]

ตามปกติวิธีการในการคิดผลของความไม่แน่นอนของโหลดแบบดั้งเดิมสามารถกระทำได้ โดยการสมมุติว่าค่าของโหลดมีการกระจายแบบปกติ (Normal distribution) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับค่าโหลดจากการพยากรณ์ และฟังก์ชันการกระจายแบบปกติจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงทั้งหมด 7 ช่วง ตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) โดยโหลดที่มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงที่กำหนดนี้จะมีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดขึ้นเท่ากับค่าความน่าจะเป็นในแต่ละช่วงนั้น ซึ่งก็คือพื้นที่ของฟังก์ชันการกระจายแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การประมาณการกระจายแบบปกติออกเป็นช่วง 7 ช่วงตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในกรณีนี้เราสามารถคำนวณค่า LOLE ได้จากสมการที่ 4.5 คือ

$$LOLE_{average} = \sum_{m=1}^N (P_{L_m})(LOLE_{L_m}) \quad (4.5)$$

- เมื่อ P_{L_m} คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิด โหลดเท่ากับ L_m
 $LOLE_{L_m}$ คือ ค่า LOLE ที่ได้เมื่อคิดในกรณีโหลดมีค่าเท่ากับ L_m
 N คือ จำนวนของค่าโหลดทั้งหมดที่พิจารณาซึ่งขึ้นกับการแบ่งช่วงของค่า S.D. (ซึ่งในที่นี้แบ่งเป็น 7 ช่วง ตามค่า S.D. ตั้งแต่ -3 ถึง +3)

4.2 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของฟิชเชอร์ในการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า

4.2.1 แนวคิดพื้นฐาน

จากหัวข้อ 2.1 ในบทที่ 2 จะพบว่าโดยความเป็นจริง ค่าเวลาที่อุปกรณ์จะเสีย หรือระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ (TTF) และเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ (TTR) มีค่าที่ไม่แน่นอน การใช้ค่าเฉลี่ยของค่า TTF และ TTR คือ MTTF และ MTTR ตามลำดับซึ่งเป็นค่าเพียงค่าเดียว (Crisp number) ในการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าจึงไม่สามารถแสดงลักษณะที่แท้จริง (Nature) ของค่าพารามิเตอร์ ทั้ง 2 ค่านี้ได้อย่างเหมาะสมนัก นอกจากนี้ จากหัวข้อที่ 4.1.1 จะเห็นได้ว่าในกรณีวิธีแบบดั้งเดิมนั้นการคำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนของค่า FOR โดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นมีกระบวนการคำนวณที่ยุ่ยาก ซับซ้อน และในทางปฏิบัติจริง เราไม่สามารถเก็บข้อมูลในส่วน of ค่าความแปรปรวนหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า FOR ได้เพียงพอตามเงื่อนไขของทฤษฎีสถิติศาสตร์ เพราะกรณีที่เรากำลังพิจารณาคือเหตุการณ์ที่อุปกรณ์ตัวหนึ่งในระบบจะเสียซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่บ่อยและมีค่าไม่แน่นอน ดังนั้นการเก็บข้อมูลให้เพียงพอที่จะประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติได้นั้นจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลามาก จึงอาจจะไม่เหมาะสมที่จะนำหลักการของความน่าจะเป็นมาอธิบายความไม่แน่นอนของค่า FOR นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆที่มีผลต่อความไม่แน่นอนของค่า FOR เช่น การใช้ค่าพารามิเตอร์ซึ่งได้มาจากฐานข้อมูลของอุปกรณ์ชนิดเดียวกันหนึ่งหรือสองอุปกรณ์มาใช้แทนค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ชนิดเดียวกันที่เหลืออยู่ในระบบทั้งหมด ทั้งที่ในความเป็นจริงอาจจะมี ความแตกต่างกันในเรื่องของ สภาพการทำงาน สภาพของอุปกรณ์ ระยะเวลาใช้งาน การบำรุงรักษาอุปกรณ์ จากสาเหตุต่างๆเหล่านี้ทำให้การนำหลักการของความน่าจะเป็นมาใช้อธิบายความไม่แน่นอนของค่า FOR อาจไม่มีความเหมาะสม

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จะเสนอวิธีการในการแสดงและจำลองความไม่แน่นอนของค่า TTF และ TTR โดยใช้ทฤษฎีพีชชีเซตในเทอมของ " ตัวเลขพีชชี " ด้วยวิธีการนี้เราสามารถแสดงความไม่แน่นอนของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ค่านี้ได้เหมาะสมมากขึ้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้าสามารถแสดงถึงผลกระทบจากความไม่แน่นอนได้อย่างชัดเจนมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีดั้งเดิม ที่แสดงโดยค่าคาดหวังที่เป็นตัวเลขค่าเดียว (Crisp number) นอกจากนี้กระบวนการในการคำนวณตามวิธีที่เสนอนี้ก็ไม่ซับซ้อนมากนัก

4.2.2 แบบจำลองมาร์คอฟฟีแบบ 2 สถานะ

วิธีการที่น่าเสนอนี้ จะอาศัยแบบจำลองมาร์คอฟฟีแบบ 2 สถานะในการแสดงถึงลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่นเดียวกับที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.1.2 ในบทที่ 2 โดยกำหนดลักษณะของ แบบจำลองมาร์คอฟฟี เป็นดังนี้ [2]

1. ขอบเขตสถานะ (State Space) ได้แก่ สถานะดีและสถานะเสียจะถูกกำหนดอย่างชัดเจน
2. สมมุติว่าการเคลื่อนที่ระหว่างสถานะสอดคล้องตามกฎความน่าจะเป็นทั่วไป นั่นคือ ไม่มีการสะสมในแต่ละสถานะ (No Memory) และสามารถอธิบายได้โดยการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution) ที่มีอัตราคงที่ $[f(t) = e^{-\lambda(t)}]$
3. กำหนดให้การเคลื่อนที่ระหว่างสถานะมีลักษณะพีชชี คือมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับค่าที่แท้จริงของอัตราการเคลื่อนที่หรือ อัตราการเปลี่ยนสถานะ(Transition Rate) โดยกำหนดให้เป็นตัวเลขพีชชี

จากข้อกำหนดดังกล่าวโดยใช้หลักการพีชคณิตพีชชีในบทที่ 3 เราจะได้ว่า

$$\tilde{P}_{up} = \frac{1}{1 + \tilde{r} \cdot (1/\tilde{m})} ; \quad \tilde{P}_{down} = \frac{1}{1 + (1/\tilde{r}) \cdot (\tilde{m})} \quad (4.6)$$

โดย $\tilde{P}_{up}, \tilde{P}_{down}$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดี และสถานะเสีย

\tilde{m}, \tilde{r} คือ ระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ (TTF) และระยะเวลาที่อุปกรณ์เสีย (TTR)

จากสมการที่ 4.6 คุณสมบัติ $1 - \tilde{P}_{up} = \tilde{P}_{down}$ $1 - \tilde{P}_{down} = \tilde{P}_{up}$ ยังคงเป็นจริงสอดคล้องตามกฎของความน่าจะเป็น สังเกตว่าเนื่องจากคุณสมบัติของตัวเลขฟัซซีที่ไม่มีอินเวอร์สการบวกและการคูณ (ดังรายละเอียดในบทที่ 3) เราจึงจำเป็นต้องจัดรูปสมการที่ 4.6 ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม คือ จะต้องไม่มีตัวแปรตัวเดียวกันที่หารตัวมันเองในสมการ ไม่เช่นนั้นจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ คือ $\tilde{P}_{up}, \tilde{P}_{down}$ มีค่าที่คลาดเคลื่อนในลักษณะของการกระจาย (Deviation) ที่สูงเกินจากความเป็นจริง

4.2.3 การสร้างตารางความน่าจะเป็นในการขาดกำลังการผลิต

เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเลขฟัซซีที่ไม่มีอินเวอร์สการบวกและการคูณดังที่กล่าวไปแล้ว อีกทั้งเนื่องจากลักษณะของพีชคณิตฟัซซี (Fuzzy arithmetic) ทำให้ วิธี Recursive ในหัวข้อ 2.1.3 ในบทที่ 2 ไม่สะดวกนักที่จะใช้สร้างตาราง COPT ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีแบบตรงไปตรงมาในการสร้างตาราง COPT ของระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า " COPT ของระบบ " (System-COPT) ตามกระบวนการคำนวณต่อไปนี้

หลังจากที่เราคำนวณค่า $\tilde{P}_{up}, \tilde{P}_{down}$ สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องเรียบร้อยแล้วตามสมการที่ 4.6 ถ้าในระบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีลักษณะเหมือนกันหลายๆเครื่อง (Identical unit) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้จะถูกรวมเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นเราจะสร้างตาราง COPT สำหรับกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ขึ้นมาก่อน โดยจะเรียกว่า " COPT ย่อย " (Sub-COPT) เพื่อให้การคำนวณตาราง COPT ของระบบใช้เวลาน้อยลง

กำหนดให้ N_i คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีลักษณะเหมือนกันที่มีกำลังการผลิตติดตั้งเท่ากับ

$$C_{ID} \text{ MW}$$

N_f คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะเสีย (Failure state)

เราจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตาราง COPT โดยการคำนวณตามตารางที่ 4.1 ดังนี้ โดย $N_f = 0, 1, \dots, N_i$ จะได้ว่า

ตารางที่ 4.1 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของ COPT ย่อย

$C_{o,s}$	\tilde{P}_s	$\tilde{\lambda}_s$	$\tilde{\mu}_s$
$N_f \cdot C_{ID}$	$\binom{N_i}{N_f} (\tilde{P}_{down})^{N_f} (\tilde{P}_{up})^{N_i - N_f}$	$(N_i - N_f) \cdot \tilde{\lambda}$	$N_f \cdot \tilde{\mu}$

- เมื่อ $C_{o,s}$ คือ กำลังการผลิตที่เกิดขัดข้อง (MW) ในสถานะ s
 \tilde{p}_s คือ ค่าความน่าจะเป็นแบบ Individual ของ $C_{o,s}$
 $\tilde{\lambda}_s$ และ $\tilde{\mu}_s$ คือ อัตราการเสียและอัตราการซ่อมของ $C_{o,s}$ ตามลำดับ

ในกรณีที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีลักษณะเหมือนกัน เราสามารถคำนวณโดยใช้ขั้นตอนดังกล่าวนี้ได้โดยกำหนดให้ $N_i = 1$ หลังจากหาคำนวณ COPT ย่อยสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบได้ครบถ้วนแล้ว ตาราง COPT ย่อยเหล่านี้จะถูกรวมเข้าด้วยกันตามลำดับเพื่อที่จะให้ได้ตาราง COPT ของระบบ โดยกระบวนการในการรวม COPT ย่อยเข้าด้วยกันจะประกอบด้วยขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอนซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ในขั้นตอนการรวมตาราง COPT ย่อย ขั้นที่ i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$ เมื่อ n คือจำนวนตาราง COPT ย่อยทั้งหมดที่มี) จะได้ว่า

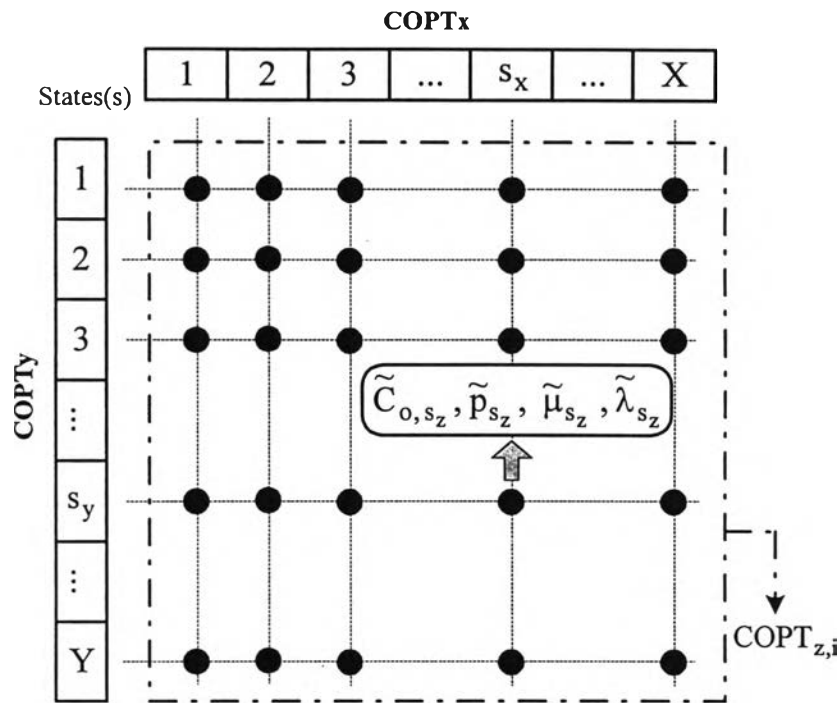
- ขั้นที่ 1 กำหนดให้ $COPT_x$ คือ ตาราง COPT ที่เป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ $i-1$ ซึ่งมีสถานะทั้งหมด X สถานะ โดย เมื่อ $i=1$ เราจะให้ $COPT_x$ คือ COPT ย่อยอันหนึ่ง
 ขั้นที่ 2 กำหนดให้ $COPT_y$ คือ ตาราง COPT ย่อยอันหนึ่งที่มีสถานะทั้งหมด Y สถานะที่กำลังจะถูกรวมเข้ากับ $COPT_x$
 ขั้นที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ในแต่ละสถานะของตาราง $COPT_x (s_x)$ และตาราง $COPT_y (s_y)$ จะถูกพิจารณาทีละสถานะ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมกันในขั้นตอนที่ i นี้ จะเรียกว่าตาราง $COPT_{z,i}$ ซึ่งจะได้จากการสร้างตารางอาร์เรย์ 2 มิติที่ครอบคลุมการรวมกันของสถานะของทั้ง $COPT_x$ และ $COPT_y$ ทั้งหมด ลักษณะดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยสถานะของ $COPT_{z,i} (s_z)$ คือ องค์ประกอบของเมตริกซ์ตามแถว (Row) และหลัก (Column) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ในแต่ละสถานะสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4.7 - 4.10

$$C_{o,s_z} = C_{o,s_x} + C_{o,s_y} \quad (4.7)$$

$$\tilde{p}_{s_z} = \tilde{p}_{s_x} \cdot \tilde{p}_{s_y} \quad (4.8)$$

$$\tilde{\mu}_{s_z} = \tilde{\mu}_{s_x} + \tilde{\mu}_{s_y} \quad (4.9)$$

$$\tilde{\lambda}_{s_z} = \tilde{\lambda}_{s_x} + \tilde{\lambda}_{s_y} \quad (4.10)$$



รูปที่ 4.2 ตารางอาร์เรย์ 2 มิติ (2-dimensional state array) ของ COPT_{z,i} ที่ได้จากการรวมกันระหว่าง COPT_x และ COPT_y

ขั้นที่ 4 ถ้าตาราง COPT_{z,i} ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 มีสถานะที่มีขนาดกำลังการผลิตซ้ำซ้อนเท่ากัน สถานะเหล่านี้จะถูกรวมกันเป็นสถานะเดียวที่มีขนาดกำลังการผลิตซ้ำซ้อนเท่าเดิม แต่ค่า $\tilde{p}, \tilde{\mu}, \tilde{\lambda}$ จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ กำหนดให้ S_i คือเซตของตำแหน่งของสถานะ (s_z) ที่มีขนาดกำลังการผลิตซ้ำซ้อนเท่ากัน และ \tilde{R} หมายถึง ค่า $\tilde{\mu}$ และ $\tilde{\lambda}$ จะได้ว่า

$$(\tilde{p})_{\text{modified}} = \sum_{k \in S_i} (\tilde{p}_k) \quad (4.11)$$

$$(\tilde{R})_{\text{modified}} = \sum_{k \in S_i} \left(\tilde{R}_k / [1 + \sum_{\substack{j \in S_i \\ j \neq k}} (\tilde{p}_j / \tilde{p}_k)] \right) \quad (4.12)$$

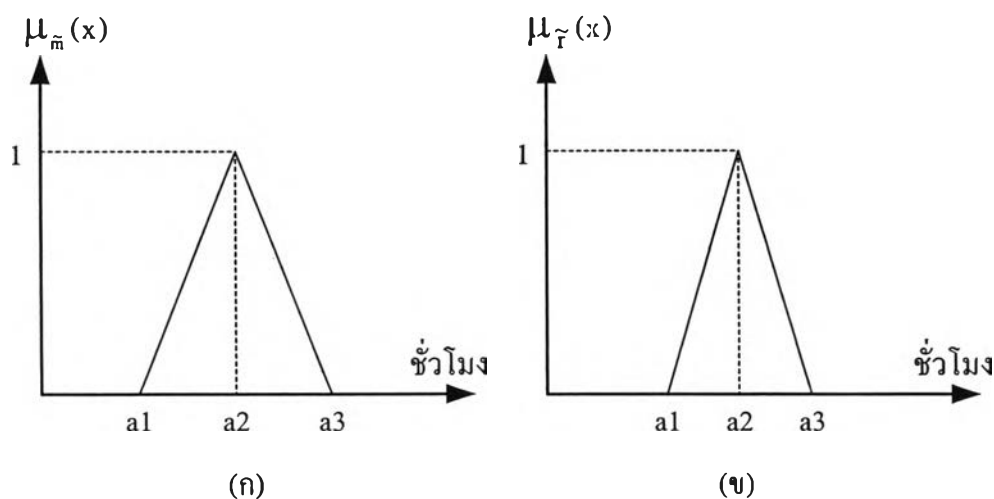
หลังจากที่รวม COPT ย่อยทุกอย่างอันเข้าด้วยกันตามขั้นตอนดังกล่าวแล้ว ผลลัพธ์สุดท้ายจากกระบวนการนี้ก็คือ COPT ของระบบนั่นเอง

ตัวอย่างที่ 4.1 กำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 คือ

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตัวอย่างที่ 4.1

ขนาดกำลังการผลิต (MW)	จำนวน (เครื่อง)	\bar{m} (TTF) (ชั่วโมง)	\bar{r} (TTR) (ชั่วโมง)
10	3	(2646 ; 2940 ; 3234)	(54 ; 60 ; 66)
15	1	(405 ; 450 ; 495)	(45 ; 50 ; 55)
20	1	(1782 ; 1980 ; 2178)	(18 ; 20 ; 22)

จากตารางที่ 4.2 เรากำหนดให้ค่า \bar{m} และ \bar{r} ซึ่งเป็นระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ (TTF) และระยะเวลาที่อุปกรณ์เสีย (TTR) เป็นตัวเลขฟัซซีที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม โดยใช้สัญลักษณ์ คือ $\tilde{A} \equiv (a_1; a_2; a_3)$ โดย a_1 และ a_3 แสดงค่าที่ 0.0-cut ในขณะที่ a_2 แสดงค่าที่ 1.0-cut ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยรูปที่ 4.3(ก) และ 4.3(ข) แสดงค่าตัวเลขฟัซซีของระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ และระยะเวลาที่อุปกรณ์เสียตามลำดับ

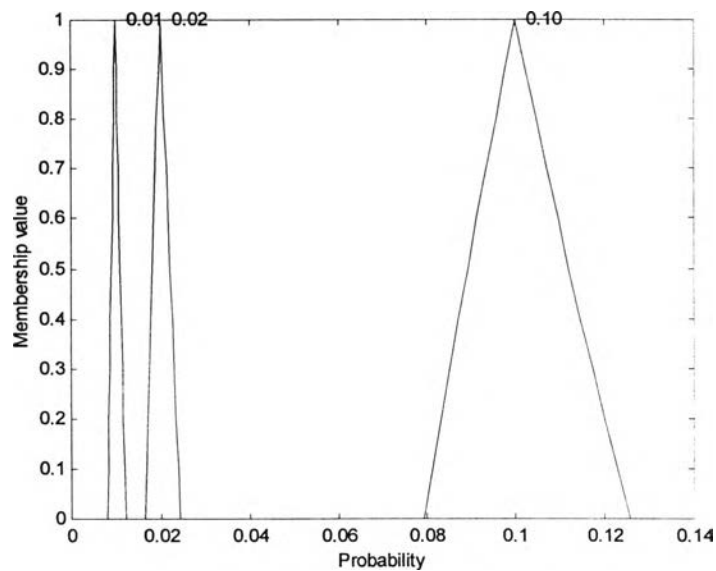


รูปที่ 4.3 ลักษณะตัวเลขฟัซซีของค่าของระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ และระยะเวลาที่อุปกรณ์เสีย

จากข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 4.2 เราจะสามารถคำนวณค่า \tilde{P}_{up} , \tilde{P}_{down} หรือค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดี และสถานะเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากสมการที่ 4.6 ได้ดังตารางที่ 4.3 และแสดงในรูปของตัวเลขฟัซซีได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

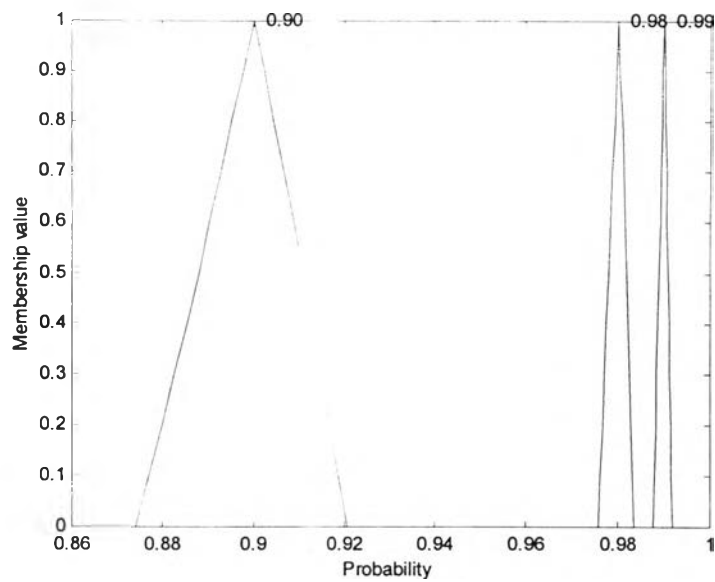
ตารางที่ 4.3 ค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดี และสถานะเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตัวอย่างที่ 4.1

ขนาดกำลังการผลิต (MW)	\tilde{P}_{up}	\tilde{P}_{down}
10	(0.0164 ; 0.020 ; 0.0243)	(0.9757 ; 0.980 ; 0.9836)
15	(0.0791 ; 0.10 ; 0.1257)	(0.8743 ; 0.90 ; 0.9210)
20	(0.0082 ; 0.010 ; 0.0122)	(0.9878 ; 0.990 ; 0.9918)



รูปที่ 4.4 ตัวเลขฟัซซีของค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะเสีย (Forced Outage Rate: FOR)

ขั้นตอนต่อไปเราจะคำนวณ COPT ย่อย (Sub-COPT) ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยในกรณีนี้เราจะได้ COPT ย่อยทั้งหมดตามตารางที่ 4.4 ถึง 4.6



รูปที่ 4.5 ตัวเลขฟัซซีของค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะดี

ตารางที่ 4.4 ตาราง COPT ย่อยของกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 10 MW จำนวน 3 เครื่อง

$C_{o,s}$	\tilde{p}_s	$\tilde{\lambda}_s$	$\tilde{\mu}_s$
0	(0.9288 ; 0.9412 ; 0.9515)	(0.0220 ; 0.0245 ; 0.0272)	0
10	(0.0469 ; 0.0576 ; 0.0706)	(0.0148 ; 0.0163 ; 0.0181)	(0.364 ; 0.4 ; 0.440)
20	(0.008 ; 0.0012 ; 0.0017)	(0.0074 ; 0.0082 ; 0.0091)	(0.727 ; 0.8 ; 0.888)
30	$(4.429 ; 8.0 ; 14.413) * 10^{-6}$	0	(1.091 ; 1.2 ; 1.330)

ตารางที่ 4.5 ตาราง COPT ย่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 15 MW

$C_{o,s}$	\tilde{p}_s	$\tilde{\lambda}_s$	$\tilde{\mu}_s$
0	(0.0791 ; 0.10 ; 0.1257)	(0.048 ; 0.053 ; 0.0627)	0
15	(0.8743 ; 0.90 ; 0.9210)	0	(0.436 ; 0.480 ; 0.565)

ตารางที่ 4.6 ตาราง COPT ย่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 20 MW

$C_{o,s}$	\tilde{p}_s	$\tilde{\lambda}_s$	$\tilde{\mu}_s$
0	(0.9878 ; 0.990 ; 0.9918)	(0.011 ; 0.012 ; 0.014)	0
20	(0.0082 ; 0.010 ; 0.0122)	0	(1.091 ; 1.20 ; 1.33)

หลังจากคำนวณตาราง COPT ย่อยเสร็จเรียบร้อยแล้ว เราจะรวมตาราง COPT ย่อยทั้งหมดนี้เข้าด้วยกันตามกระบวนการที่อธิบายไว้ ในกรณีตัวอย่างนี้ ในการรวมตาราง COPT ครั้งที่ 1 จะกำหนดให้ $COPT_x$ คือ "COPT ย่อย" ดังตารางที่ 4.4 และ $COPT_y$ คือ "COPT ย่อย" ดังตารางที่ 4.5 เราจะได้ COPT ผลลัพธ์ ($COPT_{z,1}$) ดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยเราจะคัดสถานะที่มีค่า $p_{s,\alpha=1}$ น้อยกว่า 10^{-8} ออกไป (ในกรณีของตารางที่ 4.7 นี้ คือ สถานะที่ขนาดกำลังการผลิตขัดข้อง $C_{o,s} = 45$ MW)

ตารางที่ 4.7 ตาราง COPT ผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมตาราง COPT ครั้งที่ 1 ในตัวอย่างที่ 4.1

$C_{o,s}$	\tilde{p}_s	$\tilde{\lambda}_s$	$\tilde{\mu}_s$
0	(0.8119 ; 0.8471 ; 0.8763)	(0.0707 ; 0.778 ; 0.090)	0
10	(0.0410 ; 0.0519 ; 0.0650)	(0.0633 ; 0.0697 ; 0.0809)	(0.3636 ; 0.40 ; 0.4444)
15	(0.0734 ; 0.0941 ; 0.1196)	(0.0223 ; 0.0245 ; 0.0272)	(0.4364 ; 0.48 ; 0.5647)
20	(0.0007 ; 0.00106 ; 0.0016)	(0.0559 ; 0.0615 ; 0.0718)	(0.7273 ; 0.80 ; 0.8889)
25	(0.0037 ; 0.00576 ; 0.0089)	(0.0148 ; 0.0163 ; 0.0181)	(0.80 ; 0.88 ; 1.0092)
30	(0.0000038 ; 0.0000072 ; 0.0000132)	(0.0485 ; 0.0533 ; 0.0627)	(1.0909 ; 1.20 ; 1.3333)
35	(0.000062 ; 0.000118 ; 0.000220)	(0.0074 ; 0.0082 ; 0.0091)	(1.1636 ; 1.28 ; 1.4536)

ตารางที่ 4.8 ตาราง COPT ผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมตาราง COPT ครั้งที่ 2 (COPT ของระบบ)

$C_{o,s}$	\tilde{p}_s	$\tilde{\lambda}_s$	$\tilde{\mu}_s$
0	(0.8021 ; 0.8386 ; 0.8691)	(0.0818 ; 0.0899 ; 0.1034)	0
10	(0.0405 ; 0.0513 ; 0.0645)	(0.0743 ; 0.0818 ; 0.0944)	(0.3636 ; 0.40 ; 0.4444)
15	(0.0725 ; 0.0932 ; 0.1186)	(0.0333 ; 0.0366 ; 0.0407)	(0.4364 ; 0.480 ; 0.5647)
20	(0.0073 ; 0.00952 ; 0.01228)	(0.0611 ; 0.0774 ; 0.1011)	(0.9235 ; 1.156 ; 1.4253)
25	(0.00366 ; 0.0057 ; 0.0088)	(0.0259 ; 0.0284 ; 0.0316)	(0.80 ; 0.880 ; 1.0092)
30	(0.00034 ; 0.00052 ; 0.00081)	(0.0612 ; 0.0696 ; 0.0834)	(1.4050 ; 1.595 ; 1.8195)
35	(0.00066 ; 0.00106 ; 0.00168)	(0.0171 ; 0.024 ; 0.0321)	(1.1685 ; 1.636 ; 2.2074)
40	(5.657 ; 10.584 ; 19.63) * 10^{-6}	(0.0559 ; 0.0615 ; 0.0718)	(1.818 ; 2.0 ; 2.222)
45	(0.00003 ; 0.000057 ; 0.00011)	(0.0148 ; 0.0163 ; 0.0181)	(1.891 ; 2.08 ; 2.3425)
50	(0.032 ; 0.072 ; 0.162) * 10^{-6}	(0.0485 ; 0.0533 ; 0.0627)	(2.1818 ; 2.40 ; 2.6667)
55	(0.50 ; 1.176 ; 2.679) * 10^{-6}	(0.0074 ; 0.0082 ; 0.0091)	(2.2545 ; 2.480 ; 2.7869)

หลังจากนั้นในการรวมตาราง COPT ครั้งที่ 2 จะได้ว่า $COPT_x$ คือ "COPT ผลลัพธ์จากการรวมครั้งที่ 1" ดังตารางที่ 4.7 และ $COPT_y$ คือ "COPT ย่อย" ดังตารางที่ 4.6 เราจะได้ $COPT_{x,y}$ ซึ่งก็คือ COPT ของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

4.3 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีของฟัซซีเซตในการสร้างแบบจำลองของโหลด

4.3.1 แนวคิดพื้นฐาน

จากหัวข้อ 4.1.2 จะพบว่าการศึกษาความไม่แน่นอนของโหลดที่ได้จากการพยากรณ์สามารถดำเนินการโดยสมมติให้ค่าของโหลดมีการกระจายแบบปกติ แต่ความจริงในทางปฏิบัตินั้นการตัดสินใจถึงลักษณะความไม่แน่นอนของโหลดเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ดังนั้นการแสดงความไม่แน่นอนของโหลดในลักษณะเช่นนี้ จึงไม่สามารถแสดงถึงลักษณะหรือพฤติกรรมของโหลดได้อย่างเหมาะสมนัก แต่การจำลองโหลดโดยใช้หลักการของฟัซซีจะสามารถแก้ปัญหาในประเด็นดังกล่าวได้ ซึ่งทำให้สามารถแสดงลักษณะพฤติกรรมของโหลดได้ดีกว่า เนื่องจากเราสามารถรวมความคิดเห็นหรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งข้อมูลอื่นๆที่จะส่งผลกระทบต่อความไม่แน่นอนของโหลดเข้าไปในแบบจำลองได้ ซึ่งจะทำให้แบบจำลองโหลดใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ดังนั้นการกำหนดลักษณะความไม่แน่นอนของโหลดจึงมีความยืดหยุ่น (Flexibility) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดลักษณะฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership function) ของโหลด

ในกรณีนี้แบบจำลองโหลดจะบ่งบอกถึง ระดับของความไม่แน่นอนของค่าโหลดผ่านทางคำอธิบายทางภาษา(Linguistic description) ซึ่งแสดงถึงธรรมชาติของโหลด หรือช่วงของค่าที่เป็นไปได้ เช่น "ประมาณ 10 MW" หรือ "ไม่ต่ำกว่า 8 MW และไม่สูงกว่า 12 MW แต่ประมาณได้ว่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 11 MW" เป็นต้น ซึ่งความไม่แน่นอนดังกล่าวจะอยู่ในคำจำกัดความของโหลด

จากคุณสมบัติดังกล่าวการจำลองโหลดโดยใช้หลักการฟัซซีจึงเอื้ออำนวยต่อการวางแผนระบบโดยเฉพาะการพิจารณาวางแผนในระยะยาว(Long-term)

4.3.2 การสร้างเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม (Cumulative Load Duration Curve: CLDC)

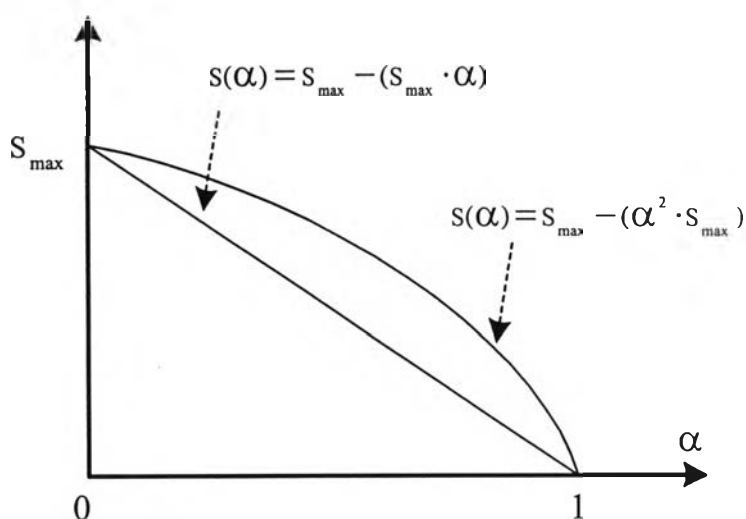
กำหนดให้ $L = F_L(t)$ เป็นเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสมที่ได้จากการพยากรณ์ โดยมีระยะเวลาที่พิจารณา คือ $t \in [0, T_{\max}]$ เราสามารถนิยามโหลดแบบฟัซซีได้โดยการเขียนสมการออกมาในเทอมของ α -cut ของตัวเลขฟัซซี ตามสมการที่ 4.13 คือ

$$L_\alpha = \left[(1 - S_L(\alpha)) \cdot F_L(t), (1 + S_R(\alpha)) \cdot F_L(t) \right] \quad (4.13)$$

เมื่อ $S_L(\alpha)$ และ $S_R(\alpha)$ มีนิยาม คือ " การกระจายไปทางด้านซ้ายและขวา " ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ลดลงหรือคงที่อย่างต่อเนื่อง (Non-strictly monotonic decreasing function) ตามค่า α โดยมีคุณสมบัติคือ

- 1.) $S_L, S_R : [0,1] \rightarrow [0, S_{\max}]$, $S_{\max} < 1$ (อัตราส่วนการกระจายสูงสุด)
- 2.) $S_L(1), S_R(1) = 0$

ตัวอย่างเช่น ฟังก์ชัน $S(\alpha) = S_{\max} - (S_{\max} \cdot \alpha)$ หรือ $S(\alpha) = S_{\max} - (\alpha^2 \cdot S_{\max})$ เป็นต้น ดังแสดงในรูปของกราฟได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างลักษณะของฟังก์ชัน $S_L(\alpha)$ และ $S_R(\alpha)$

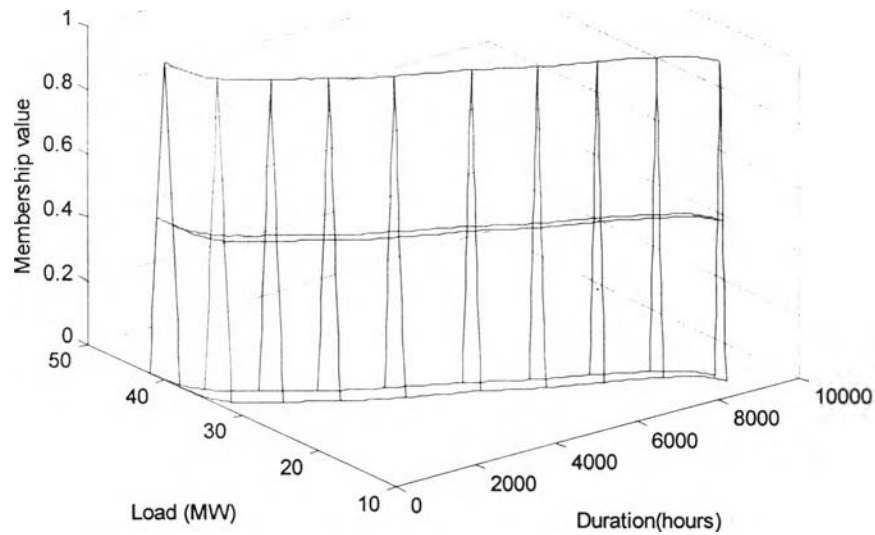
ในกรณีนี้ฟังก์ชัน $S_L(\alpha)$ และ $S_R(\alpha)$ จะเป็นตัวกำหนดลักษณะและรูปร่างของเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม โดยค่า S_{\max} จะเป็นค่าที่ระบุขอบเขตของความไม่แน่นอนที่พิจารณาในตัวของแบบจำลองโหลด

จากสมการที่ 4.13 ระยะเวลาที่เกิดโหลดที่มีค่าเท่ากับ L_c MW สามารถคำนวณได้จากสมการที่เขียนออกมาในเทอมของ α -cut ดังสมการที่ 4.14

$$t_\alpha = \left[F_L^{-1} [L_c / (1 - S_L(\alpha))], F_L^{-1} [L_c / (1 + S_R(\alpha))] \right] \quad (4.14)$$

เมื่อ $F_L^{-1}(\cdot) \in [0, T_{\max}]$

ตัวอย่างที่ 4.2 กำหนดให้ $L = F_L(t)$ เป็นเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสมที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งมีค่าโหลดสูงสุดเท่ากับ 40 MW โดยมีระยะเวลาที่พิจารณา คือ $t \in [0, 8736]$ (ชั่วโมง) และกำหนดให้ฟังก์ชัน $S_L(\alpha)$ และ $S_R(\alpha)$ คือ $S_L(\alpha), S_R(\alpha) = 0.05 - (0.05) \cdot (\alpha)$ นั่นคือ S_{\max} มีค่า 5% ดังนั้นจะได้โหลดแบบฟัซซีที่มีลักษณะดังรูปที่ 4.7



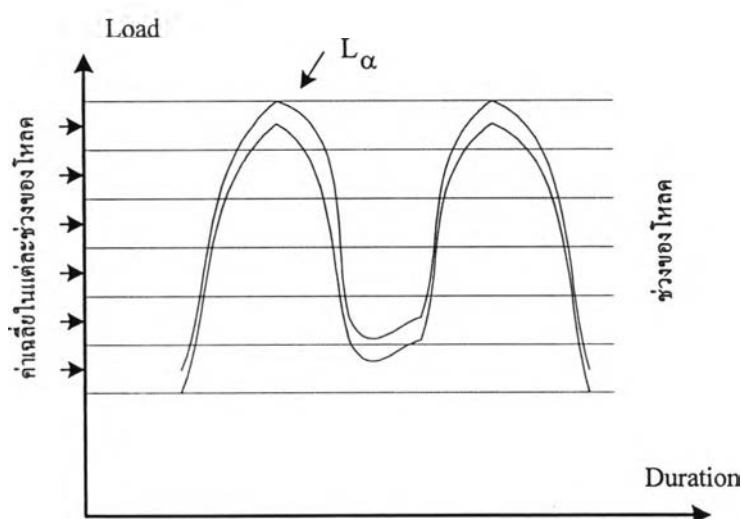
รูปที่ 4.7 เส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสมแบบฟัซซีตามตัวอย่างที่ 4.2

4.3.3 การสร้างแบบจำลองชนิด Cumulative state

ในการสร้างแบบจำลองชนิด Cumulative state การแสดงถึงความไม่แน่นอนของค่าโหลด โดยใช้ทฤษฎีของฟัซซีสามารถทำได้ในทำนองเดียวกันกับการสร้างเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสมที่เริ่มพิจารณาจากโหลดที่ได้จากการพยากรณ์โดยกำหนดให้ $L = F_L(t)$ แต่ในกรณีนี้จะต้องเริ่มพิจารณาจากโหลดแบบรายวัน (Daily load curve) นั่นคือ $F_L(t)$ จะเป็นฟังก์ชันที่แสดงถึงโหลดรายวัน และสามารถนิยามโหลดแบบฟัซซีได้โดยการเขียนสมการออกมาในเทอมของ α -cut ของตัวเลขฟัซซี เช่นเดียวกับสมการที่ 4.13

ส่วนการคำนวณค่าความน่าจะเป็นสะสมและความถี่ของโหลดที่ระดับต่างๆสามารถทำได้เช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.2.1 ของบทที่ 2 โดยค่าความน่าจะเป็นสะสมและความถี่ของโหลดแต่ละระดับจะถูกคำนวณออกมา ณ แต่ละค่า α -cut ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งสุดท้ายก็จะได้ผลลัพธ์เป็นตัวเลขฟัซซีที่แสดงถึงค่าทั้ง 2 นี้ ตามลำดับ

โดยการกำหนดระดับค่าของโหลดสามารถทำได้โดยการแบ่งช่วงของโหลดที่เรียงลำดับเรียบร้อยแล้วออกเป็นกลุ่มๆแล้วพิจารณาค่าเฉลี่ยของช่วงของโหลดแต่ละกลุ่มที่แบ่งออกมา โดยถือว่าค่าเฉลี่ยที่ได้นี้เป็นตัวแทนของโหลดแต่ละกลุ่มนั้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าในความเป็นจริง ระดับของโหลดจะมีค่าที่ต่อเนื่องจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาโหลดเป็นกลุ่มหรือช่วงของโหลดแทนที่จะพิจารณาโหลดในทุกๆค่าซึ่งไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ จากเหตุผลข้างต้น สังเกตว่าถ้าโหลดยังถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มหลายๆกลุ่มมากขึ้น นั่นก็เป็นการพิจารณาระดับของโหลดละเอียดขึ้น ก็จะทำให้แบบจำลองของโหลดใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

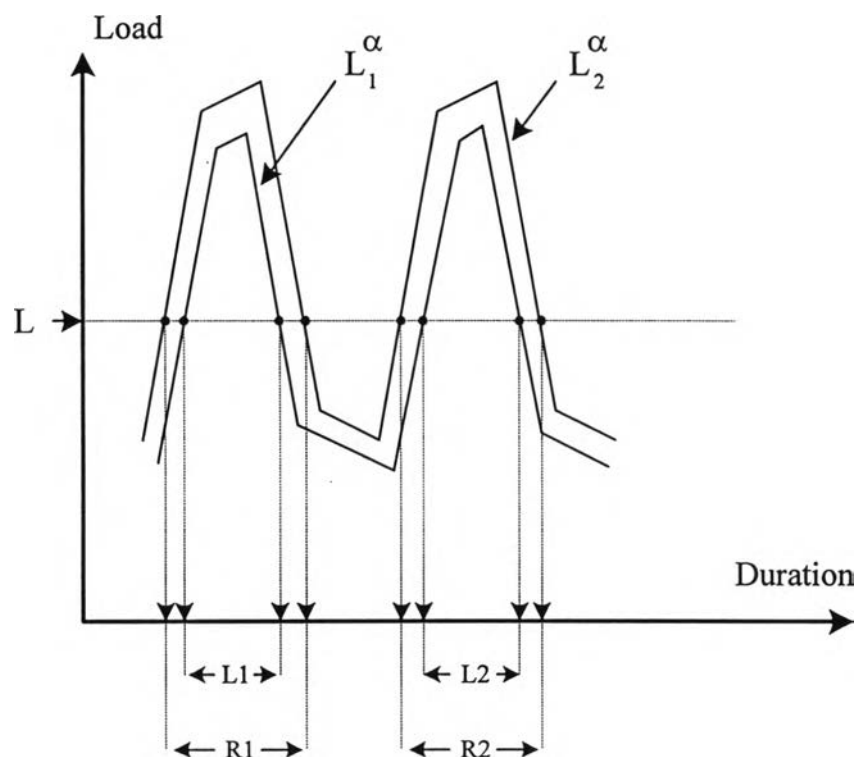


รูปที่ 4.8 การแบ่งช่วงของโหลดเพื่อหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วง

- การคำนวณความน่าจะเป็นของโหลดแต่ละระดับ

จากสมการที่ 4.3 โหลดรายวันแบบฟัซซี (L_α) ที่เขียนในรูปของ α -cut สามารถเขียนอยู่ในรูปของ $L_\alpha = [L_1^\alpha, L_2^\alpha]$ โดย L_1^α และ L_2^α คือค่าขอบด้านซ้ายและขอบด้านขวาของช่วงจำนวนจริงที่ได้ ณ α -cut หนึ่ง ดังนั้นในการพิจารณาความน่าจะเป็นของโหลด จะต้องพิจารณาทุกระดับ α -cut

ซึ่งก็คือ จะต้องพิจารณาค่าขอบด้านซ้ายและขอบด้านขวาของช่วงจำนวนจริงที่เกิดจากรอยตัด ณ α -cut นั้น แทนที่จะพิจารณาค่าโหนดเพียงค่าเดียวแบบในกรณีการวิเคราะห์แบบปกติ (หัวข้อ 2.2)



รูปที่ 4.9 การพิจารณาโหนดแบบฟัซซีเพื่อคำนวณความน่าจะเป็นของโหนดแต่ละระดับ

จากรูปที่ 4.9 จะสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นของโหนดระดับหนึ่ง (L) ได้ โดยการพิจารณาค่า L_1^α และ L_2^α ของโหนดแบบฟัซซี ณ α -cut หนึ่ง (L_α) ซึ่งจะได้ว่า ระยะเวลาที่เกิดโหนดเท่ากับหรือมากกว่า L ณ ระดับ α -cut นี้ คือ $T_\alpha = [T_1^\alpha, T_2^\alpha]$ โดย T_1^α คือ ผลรวมของระยะเวลา L_1, L_2, L_3, \dots และ T_2^α คือ ผลรวมของระยะเวลา R_1, R_2, R_3, \dots ดังแสดงในรูปที่ 4.9

เมื่อพิจารณาทุกค่า α -cut แล้ว ก็จะได้ตัวเลขฟัซซีของช่วงเวลาสะสมที่จะเกิดโหนดค่า L หรือ \tilde{T}_L ซึ่งเมื่อนำค่าระยะเวลาทั้งหมดที่พิจารณา เช่น 365 วัน หรือ 8760 ชั่วโมง มาหาร ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าความน่าจะเป็นสะสมของโหนดระดับ L หรือ \tilde{P}_L ตามลำดับ

- การคำนวณความถี่ของโหนดแต่ละระดับ

การคำนวณความถี่ของโหนดแต่ละระดับสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับที่แสดงในหัวข้อ 2.2.1 เพียงแต่การพิจารณาความถี่ในการเปลี่ยนระดับของโหนดจะต้องพิจารณา ณ แต่ละค่า α -cut คือ จากหัวข้อที่ 2.2.1 ถ้า

$$\text{สถานะที่ 1 } \text{Load}_{i,(1,2)}^\alpha \geq L \text{ และ สถานะที่ 2 } \text{Load}_{i-1,(1,2)}^\alpha < L$$

ก็จะนับว่าเป็นการเปลี่ยนแปลง 1 ครั้ง สำหรับค่าของโหนดระดับ L โดยสัญลักษณ์ตัวห้อย (1,2) แสดงว่าจะต้องพิจารณาค่าที่สอดคล้องกัน เมื่อทำการคำนวณ ณ ทุกๆระดับ α -cut แล้วนำค่าระยะเวลาทั้งหมดที่พิจารณามาหาร ก็จะได้อัตราความถี่ของความถี่สะสมของค่าโหนดที่ระดับ L หรือ \tilde{F}_L

4.3.4 การสร้างแบบจำลองชนิด Individual state

การสร้างแบบจำลองชนิด Individual state โดยนิยามให้โหนดเป็นโหนดแบบฟัซซีจะมีวิธีการคล้ายกับที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 2.2.2 โดยการกำหนดระดับค่าของโหนดจากการแบ่งช่วงของโหนดที่เรียงลำดับเรียบร้อยแล้วออกเป็นกลุ่มๆแล้วพิจารณาค่าเฉลี่ยของช่วงของโหนดแต่ละกลุ่มที่แบ่งออกมา ซึ่งพารามิเตอร์ที่ต้องการในการคำนวณแบบจำลองของโหนดแบบฟัซซีจะมีลักษณะที่เหมือนและแตกต่างกัน ดังนี้

- 1) จำนวนระดับของโหนดต่างๆ (N) ค่าโหนดสูงสุด (L_i) ค่าโหนดต่ำสุด (L_0) และ ระยะเวลาที่พิจารณา (D) จะเป็นตัวเลขปกติ (365 วัน หรือ 8760 ชั่วโมง)
- 2) จำนวนครั้งของการเกิดโหนด $n(L_i)$ ซึ่งพิจารณาจากโหนดรายวันแบบฟัซซี เช่นเดียวกับที่แสดงในรูปที่ 4.8 จะเป็นตัวเลขฟัซซี ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการนับการเกิดของโหนดค่า L_i จากโหนดรายวันแบบฟัซซี ณ ค่า α -cut หนึ่ง จนครบทุกๆ α -cut

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของโหนดสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.9 ดังแสดงต่อไปนี้

ตารางที่ 4.9 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองของโหลด

ชนิด Individual state แบบพีชชี

พารามิเตอร์	โหลดสูงสุด L_i	โหลดต่ำสุด L_0
เวลาโดยเฉลี่ยในการเกิดโหลด (ตัวเลขปกติ)	e	$1-e$
ความน่าจะเป็นแบบ Individual (ตัวเลขพีชชี)	$\tilde{p}(L_i) = \frac{\tilde{n}(L_i)}{D}(e)$	$p(L_0) = (1-e)$
อัตราการเปลี่ยนแปลงจากโหลด ระดับหนึ่งไปยังโหลดที่สูงกว่า (ตัวเลขปกติ)	$\lambda_+(L_i) = 0$	$\lambda_+(L_0) = \frac{1}{1-e}$
อัตราการเปลี่ยนแปลงจากโหลด ระดับหนึ่งไปยังโหลดที่ต่ำกว่า (ตัวเลขปกติ)	$\lambda_-(L_i) = \frac{1}{e}$	$\lambda_-(L_0) = 0$
ความถี่ในการเกิดโหลด (ตัวเลขพีชชี)	$\tilde{f}(L_i) = \frac{\tilde{n}(L_i)}{D}$	$f(L_0) = 1$

4.4 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้า

4.4.1 การคำนวณค่าดัชนี LOLE และ EENS

จากแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า คือ ตาราง COPT ของระบบที่คำนวณได้ และจากแบบจำลองของโหลด คือ เส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม จะสามารถคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ คือ ค่า Loss of Load Expectation (LOLE) และ ค่า Expected Energy Not Supplied (EENS) ได้จากสมการที่ 4.15 และ 4.16

$$L\tilde{O}LE = \sum_{s=1}^{S_T} (\tilde{p}_s \cdot \tilde{t}_s) \quad (4.15)$$

$$E\tilde{E}NS = \sum_{s=1}^{S_T} (\tilde{p}_s \cdot \tilde{E}_s) \quad (4.16)$$

- เมื่อ \tilde{t}_s คือ ระยะเวลาที่เกิดการสูญเสียโหลดเนื่องจาก $C_{o,s}$
 \tilde{E}_s คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจาก $C_{o,s}$
 S_T คือ จำนวนสถานะของตาราง COPT ของระบบ

ในการคำนวณค่า $L\tilde{O}LE$ จะคำนวณ \tilde{t}_s ได้จากสมการที่ 4.14 โดยการแทนค่า L_c ด้วยค่า $(C_T - C_{o,s})$ ซึ่ง C_T คือกำลังการผลิตติดตั้งทั้งหมดของระบบ (MW) ดังนั้น $(C_T - C_{o,s})$ ก็จะแสดงถึงค่ากำลังการผลิตที่มีอยู่ที่เพียงพอที่จะจ่ายโหลดขนาด L_c MW

ในการคำนวณค่า $E\tilde{E}NS$ จะคำนวณค่า \tilde{E}_s ได้โดยการพิจารณาความสัมพันธ์ตามสมการความสมดุลของพลังงาน ดังสมการที่ 4.17 คือ

$$\tilde{E}_C + \tilde{E}_G = \tilde{E}_D \quad (4.17)$$

- เมื่อ \tilde{E}_C คือ พลังงานที่ไม่ได้รับการจ่าย (Energy curtailed)
 \tilde{E}_G คือ พลังงานที่ระบบจ่ายให้แก่โหลด (Energy supplied)
 \tilde{E}_D คือ พลังงานทั้งหมดที่ต้องการ (Energy demand) ซึ่งก็คือพื้นที่ใต้เส้นโค้ง CLDC

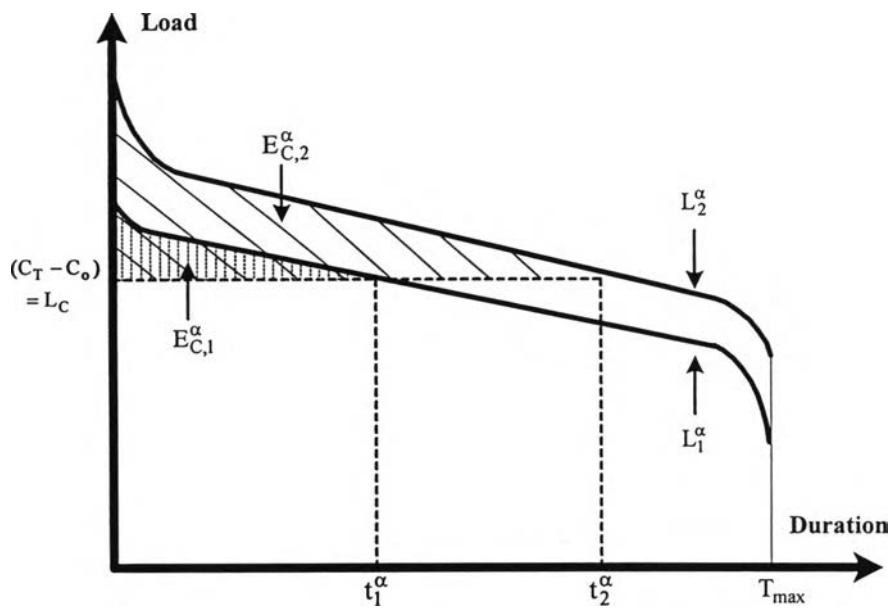
สมการที่ 4.17 เป็นสมการพีชคณิตที่สามารถแก้หาผลเฉลยได้โดยใช้วิธีการแก้สมการพีชคณิตตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2.8 ดังสมการที่ 4.18

$$E_{C,(1,2)}^\alpha = E_{D,(1,2)}^\alpha - E_{G,(1,2)}^\alpha, \forall \alpha \in [0,1] \quad (4.18)$$

โดยการแทนค่า $E_{D,(1,2)}^\alpha$ และ $E_{G,(1,2)}^\alpha$ สมการที่ 4.18 จะได้เป็นสมการที่ 4.19 คือ

$$E_{C,(1,2)}^\alpha = \int_0^{t_{(1,2)}^\alpha} [L_{(1,2)}^\alpha] \cdot dt - ((C_T - C_o) \cdot t_{(1,2)}^\alpha), \forall \alpha \in [0,1] \quad (4.19)$$

- เมื่อ
- 1) $E_{C,\alpha} \equiv [E_{C,1}^\alpha, E_{C,2}^\alpha]$, $t_\alpha \equiv [t_1^\alpha, t_2^\alpha]$ และ $L_\alpha \equiv [L_1^\alpha, L_2^\alpha]$ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งสัมพันธ์กับค่า α -cut หนึ่ง
 - 2) สัญลักษณ์ตัวห้อย 1, 2 หมายความว่า การคำนวณตามสมการที่ 4.19 จะต้องคำนวณตามค่าที่สอดคล้องกันตามลำดับ



รูปที่ 4.10 การคำนวณค่าพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายโดยการพิจารณาเส้นโค้ง CLDC

ค่า \tilde{E}_s ในสมการที่ 4.17 สามารถคำนวณได้จากการแทนค่า C_o และ $t_{(1,2)}^\alpha$ ในสมการที่ 4.19 ด้วยค่า $C_{o,s}$ และ $t_{s,(1,2)}^\alpha$ ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 4.3 จากแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าที่คำนวณได้ในตัวอย่างที่ 4.1 และแบบจำลองของโหลดในตัวอย่างที่ 4.2 จะสามารถคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ คือ ค่า LOLE และ EENS ได้ดังนี้

จากวิธีการที่นำเสนอที่ได้กล่าวไปแล้ว ค่าระยะเวลาที่เกิดการสูญเสียโหลดเนื่องจาก $C_{o,s}$ (\tilde{t}_s) และค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจาก $C_{o,s}$ (\tilde{E}_s) สำหรับแต่ละสถานะการขาดกำลังการผลิตในตาราง COPT ของระบบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่า $\tilde{\tau}_s$ และ \tilde{E}_s ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.14 และ 4.19 ในตัวอย่างที่ 4.3

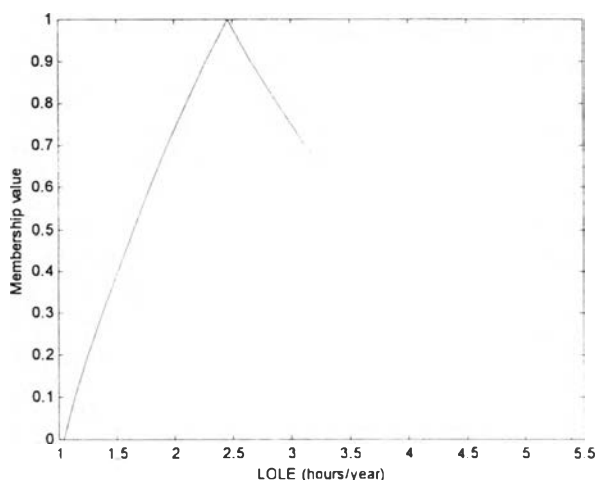
$C_{o,s}$	\tilde{p}_s	$\tilde{\tau}_s$ (ชั่วโมง)	\tilde{E}_s (MW)
0	(0.8021 ; 0.8386 ; 0.8691)	(0 ; 0 ; 0)	(0 ; 0 ; 0)
10	(0.0405 ; 0.0513 ; 0.0645)	(0 ; 0 ; 0)	(0 ; 0 ; 0)
15	(0.0725 ; 0.0932 ; 0.1186)	(0 ; 0 ; 0)	(0 ; 0 ; 0)
20	(0.0073 ; 0.00952 ; 0.01228)	(0 ; 0 ; 0)	(0 ; 0 ; 0)
25	(0.00366 ; 0.0057 ; 0.0088)	(0 ; 0 ; 15.062)	(0 ; 0 ; 11.55)
30	(0.00034 ; 0.00052 ; 0.00081)	(64.7 ; 243.9 ; 625.3)	(0.5385 ; 2.99 ; 10.217)
35	(0.00066 ; 0.00106 ; 0.00168)	(1230 ; 1794 ; 2312)	(2456 ; 4991 ; 8319)
40	$(5.657 ; 10.584 ; 19.63) * 10^{-6}$	(3325 ; 4036 ; 4653)	$(1.349 ; 1.904 ; 2.544) * 10^4$
45	(0.00003 ; 0.000057 ; 0.00011)	(5848 ; 6453 ; 7045)	$(3.367 ; 4.511 ; 5.412) * 10^4$
50	$(0.032 ; 0.072 ; 0.162) * 10^{-6}$	(8468 ; 8606 ; 8698)	$(7.314 ; 8.374 ; 9.441) * 10^4$
55	$(0.50 ; 1.176 ; 2.679) * 10^{-6}$	(8736 ; 8736 ; 8736)	$(11.661 ; 12.735 ; 13.81) * 10^4$

จากค่า $\tilde{\tau}_s$ และ \tilde{E}_s ที่คำนวณได้ในตารางที่ 4.10 จะสามารถคำนวณค่า LOLE และ EENS ได้จากสมการที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลลัพธ์คือ

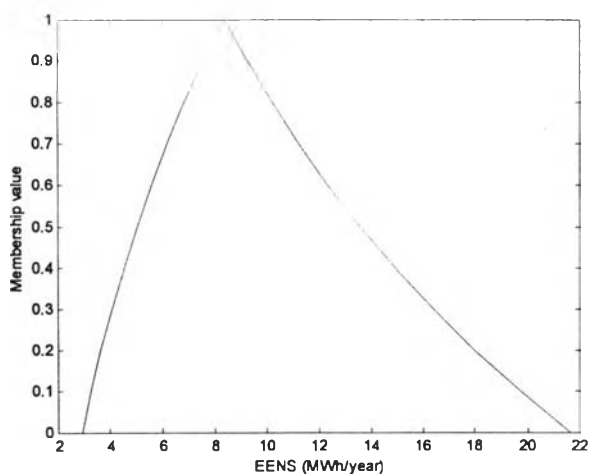
$$\tilde{LOLE} = [1.039 ; 2.451 ; 5.393] \text{ ชั่วโมง/ปี}$$

$$\tilde{EENS} = [2.902 ; 8.392 ; 21.620] \text{ MWh/ปี}$$

โดยตัวเลขฟัซซีของ LOLE และ EENS ที่คำนวณได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



รูปที่ 4.11 ตัวเลขฟัซซี LOLE ที่คำนวณได้ในตัวอย่างที่ 4.3



รูปที่ 4.12 ตัวเลขฟัซซี่ EENS ที่คำนวณได้ในดังอย่างที่ 4.3

4.4.2 การคำนวณค่าดัชนี Frequency & Duration (F&D)

- การคำนวณ โดยใช้แบบจำลองโหนดชนิด *Individual state*

การคำนวณค่าดัชนี F&D โดยใช้แบบจำลองโหนดชนิด *Individual state* สามารถทำได้คล้ายกับวิธีที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 2.3.2 แต่สมการที่ 2.22 และ 2.23 จะเปลี่ยนเป็นสมการที่ 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ คือ

$$\tilde{\lambda}_{+m} = \tilde{\lambda}_{+c} + \lambda_{-L} \quad (4.20)$$

$$\tilde{\lambda}_{-m} = \tilde{\lambda}_{-c} + \lambda_{+L} \quad (4.21)$$

จากสมการที่ 4.20 และ 4.21 จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสถานะไปสู่สถานะที่มีค่า Margin สูงขึ้นและต่ำลงในตาราง Margin จะเป็นตัวเลขฟัซซี่ ความน่าจะเป็นที่สถานะ Margin หนึ่ง จากสมการที่ 2.24 จะเปลี่ยนเป็นสมการที่ 4.22 คือ

$$\text{Probability} \quad \tilde{p}_k = (\tilde{p}_c)(\tilde{p}_L) \quad (4.22)$$

จากสมการที่ 2.25 จะคำนวณความถี่ของค่า Margin ได้จากสมการที่ 4.23

$$\tilde{f}_k = \tilde{p}_k (\tilde{\lambda}_{+k} + \tilde{\lambda}_{-k}) \quad (4.23)$$

ในกรณีที่เกิดมีสถานะที่ซ้ำกันในตาราง Margin จะต้องทำการรวมสถานะที่ซ้ำกันเหล่านั้นเข้าด้วยกัน ซึ่งจะได้ค่าพารามิเตอร์ของสถานะใหม่ที่รวมกันแล้วตามสมการที่ 4.24 และ 4.25 คือ

$$\tilde{p}_k = \sum_{i=1}^s \tilde{p}_i \quad (4.24)$$

เมื่อ s คือสถานะที่ซ้ำกันทั้งหมด จะได้ว่า

$$(\tilde{\lambda})_{\pm k} = \sum_{i=1}^s \left(\tilde{\lambda}_{\pm i} / [1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^s (\tilde{p}_j / \tilde{p}_i)] \right) \quad (4.25)$$

ความถี่สะสมสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4.26 คือ

$$\tilde{F}_k = \tilde{F}_{k-1} + \tilde{p}_k (\tilde{\lambda}_{+k} - \tilde{\lambda}_{-k}) \quad (4.26)$$

จากสมการที่ 4.26 เมื่อคำนวณจนครบทุกสถานะแล้ว ค่า \tilde{F}_k ของสถานะที่เป็นลบค่าแรก (First negative margin) จะเป็นค่าดัชนีความถี่คือได้ "Frequency" ของระบบ ส่วนค่า "Duration" จะสามารถคำนวณได้โดยการนำค่าความน่าจะเป็นสะสม ณ สถานะที่เป็นลบค่าแรกมาหารด้วยค่า \tilde{F}_k ตามสมการที่ 4.27 คือ

$$\text{Fuzzy Duration} = \frac{\tilde{p}_k}{\tilde{F}_k} \quad (4.27)$$

- การคำนวณโดยใช้แบบจำลองโหลดชนิด Cumulative state

ในกรณีนี้ หลักการของการคำนวณค่าดัชนี F&D โดยใช้แบบจำลองโหลดชนิด Cumulative state ยังคงเหมือนกับที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2.3.2 แต่สมการที่ 2.30 และ 2.31 จะต้องเปลี่ยนเป็นสมการที่ 4.28 และ 4.29 ตามลำดับ

$$\tilde{P}(m) = \sum_x \tilde{p}(X) \tilde{P}(C - X - m) \quad (4.28)$$

$$\tilde{F}(m) = \sum_x \tilde{p}(X) \left((\tilde{\lambda}_+(X) - \tilde{\lambda}_-(X)) \tilde{P}(C - X - m) + \tilde{F}(C - X - m) \right) \quad (4.29)$$

จากสมการที่ 4.28 และ 4.29 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ "Frequency" คือค่า $\tilde{F}(0)$ และค่าดัชนี "Duration" สามารถหาได้จากการหาค่า $\tilde{P}(0)$ แล้วนำมาหารด้วย ค่า $\tilde{F}(0)$

4.5 การคำนวณค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม

4.5.1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายหลักๆ 2 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) และ ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable cost) ตามสมการที่ 4.30 คือ

$$\tilde{C}_{TP} = \sum_{i=1}^G (FC_i \cdot C_i + OC_i \cdot E\tilde{E}S_i) \quad (4.30)$$

- เมื่อ \tilde{C}_{TP} คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งหมด
 FC_i คือ ค่าใช้จ่ายคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
 C_i คือ กำลังการผลิตติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
 OC_i คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
 $E\tilde{E}S_i$ คือ พลังงานที่คาดว่าจะจ่าย (Expected energy supplied) โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
 G คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

พลังงานที่คาดว่าจะจ่าย (Expected energy supplied) โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (\tilde{EES}_i) สามารถคำนวณได้โดยการพิจารณาสมการที่ 4.31 ซึ่งเป็นสมการพีชคณิต คือ

$$\tilde{EENS}_{(i)} + \tilde{EES}_{(i)} = \tilde{EENS}_{(i-1)} \quad (4.31)$$

เมื่อ $\tilde{EENS}_{(i)}$ คือค่า \tilde{EENS} ที่เป็นตัวเลขพีชคณิตของระบบหลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i เข้าไป ($\tilde{EENS}_{(0)} = \tilde{E}_D$) โดยการคำนวณค่า \tilde{EES}_i ถ้าในระบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีลักษณะไม่เหมือนกัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้จะต้องถูกเพิ่มเข้าไปในระบบทีละเครื่อง ผลเฉลยจากการแก้สมการที่ 4.31 ซึ่งเป็นสมการพีชคณิต จะได้ตามสมการที่ 4.32

$$\tilde{EES}_{i,(1,2)}^\alpha = \tilde{EENS}_{i-1,(1,2)}^\alpha - \tilde{EENS}_{i,(1,2)}^\alpha, \forall \alpha \in [0,1] \quad (4.32)$$

4.5.2 ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องมาจากไฟฟ้าดับ

การแสดงถึงลักษณะการกระจายของข้อมูลค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากไฟฟ้าดับที่ได้จากการออกแบบสอบถามผู้ใช้ประเภทต่างๆ สามารถทำได้โดยการจำลองการกระจายนั้น โดยการประยุกต์ใช้ตัวเลขพีชคณิต ด้วยวิธีนี้ ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทจะเป็นตัวเลขพีชคณิตซึ่งเป็นผลลัพธ์ของระบบการวินิจฉัยเชิงพีชคณิต ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลที่ได้อาจมีปริมาณที่มากกว่าข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จึงอาจไม่เหมาะสมที่จะกำหนดลักษณะของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวเลขพีชคณิตโดยตัวผู้ประเมินเอง โดยการใช้ระบบการวินิจฉัยแบบพีชคณิต จะทำให้การกำหนดลักษณะของตัวเลขพีชคณิตเป็นระบบ (Systematic) มีแบบแผนที่คงที่ และมีความเหมาะสมมากกว่า

หลังจากที่คำนวณตัวเลขพีชคณิตของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท/ช่วงเวลาได้แล้ว ก็จะได้ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละประเภท (Sector Customer Damage Function: SCDF) และจากการพิจารณาสัดส่วนของการใช้ไฟฟ้าในผู้ใช้แต่ละประเภท ก็จะสามารถคำนวณฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า (Composite Customer Damage Function : CCDF) ซึ่งเป็นตัวเลขพีชคณิตได้ตามลำดับ

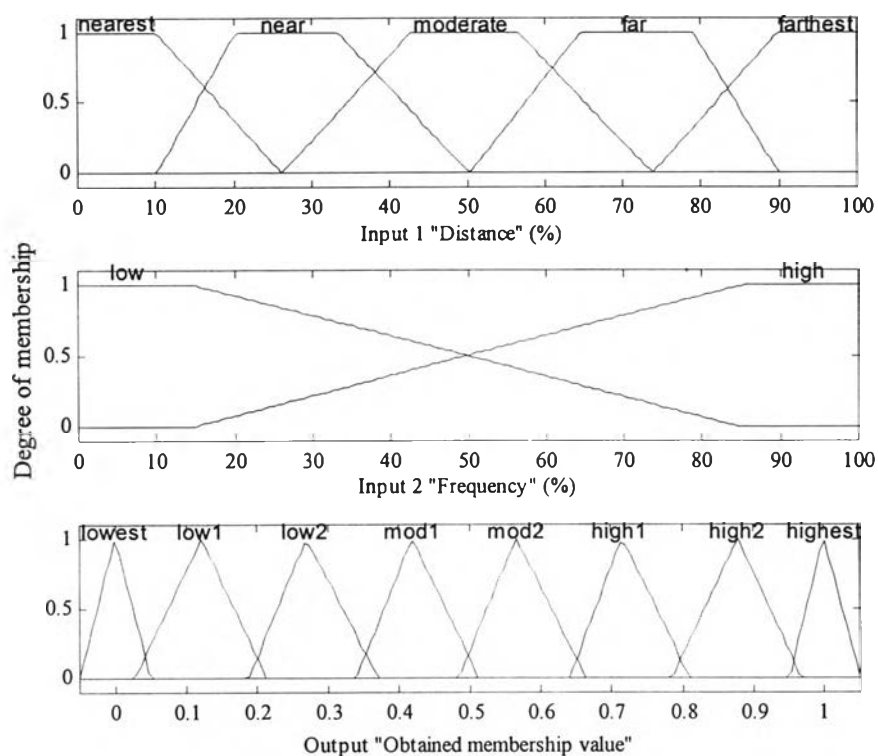
ในส่วนของระบบการวินิจฉัยเชิงพีชคณิตจะประกอบด้วยอินพุต 2 อินพุต เอาท์พุต 1 เอาท์พุต และกฎ 8 กฎ โดยกำหนดกฎ If-then สำหรับการหาค่าตัวเลขพีชคณิตของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 กฎ If-then ของระบบการวินิจฉัยเชิงฟัซซีที่ออกแบบไว้

Rule	Input 1	Input 2	Output
	If <i>Distance</i> is	and <i>Frequency</i> is	then <i>membership value</i> is
1	Nearest	-	Highest
2	Near	High	High2
3	Near	Low	Moderate2
4	Moderate	High	High1
5	Moderate	Low	Low2
6	Far	High	Moderate1
7	Far	Low	Low1
8	Farthest	-	Lowest

เมื่อ *distance* คือ ระยะห่างของจุดข้อมูลจุดหนึ่งเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่มนั้น

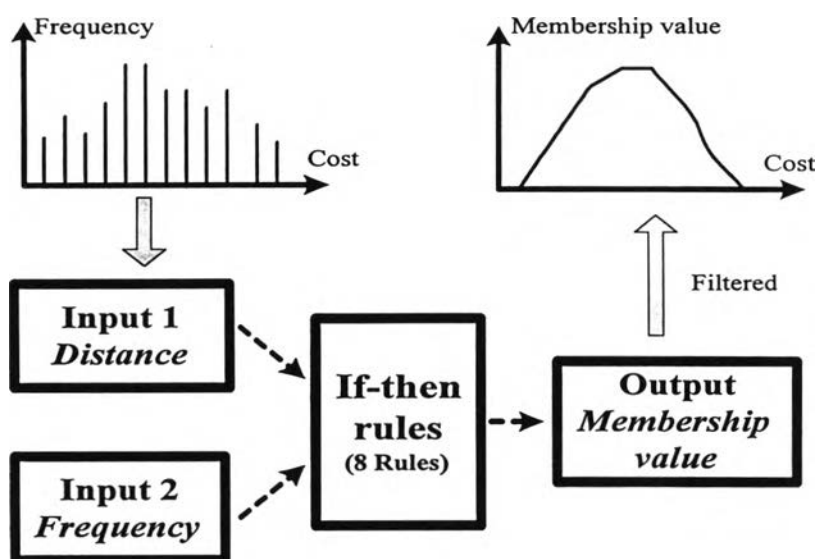
frequency คือ ความถี่หรือจำนวนข้อมูลที่ซ้ำกันของข้อมูลหนึ่งจุด เทียบกับความถี่สูงสุดของข้อมูลในกลุ่มนั้น



รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตและเอาต์พุตของระบบวินิจฉัยเชิงฟัซซี

อินพุต *distance* และ *frequency* เป็นตัวแปรเชิงภาษาที่สื่อถึงคุณสมบัติของจุดข้อมูลแต่ละจุดเทียบกับข้อมูลในกลุ่มของมัน เนื่องจากในทางปฏิบัติข้อมูลค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทจะมีการซ้ำกันไม่มากนัก ดังนั้นอินพุตที่ 2 (*frequency*) จึงถูกอธิบายได้โดยใช้ค่าเชิงภาษาเพียง 2 ค่า คือ สูง และ ต่ำ โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุต และ เอาท์พุตจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.13

หลังจากที่ได้ตัวเลขฟัซซีของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทจากระบบวินิจฉัยเชิงฟัซซีแล้ว บางที่จำเป็นที่จะต้องทำการกรอง (Filter) เพื่อที่จะได้ตัวเลขฟัซซีที่มีลักษณะ Convex และเรียบสอดคล้องกับนิยามของตัวเลขฟัซซี โดยกระบวนการทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กระบวนการสร้างตัวเลขฟัซซีของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภท

4.5.3 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าดับในระบบผลิตไฟฟ้า

หลังจากคำนวณฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้า (Composite Customer Damage Function : CCDF) ซึ่งเป็นตัวเลขฟัซซีได้แล้ว จะสามารถคำนวณค่าอัตราพลังงานไฟฟ้าดับ (IEAR) ได้ ซึ่งค่า IEAR จะใช้ในการคำนวณค่าความเสียหายเนื่องมาจากไฟฟ้าดับ ตามสมการที่ 4.33

$$\tilde{C}_{ic} = (\bar{IEAR}) \cdot (\bar{EENS}) \quad (4.33)$$

เนื่องจากฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นตัวเลขพีชชี ดังนั้นค่า IEAR ที่คำนวณได้จึงเป็นตัวเลขพีชชีด้วยซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.34

$$\tilde{I}EAR = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \tilde{f}_i \cdot \tilde{c}(\text{cen}(\tilde{d}_i))}{\sum_{i=1}^N m_i \cdot \tilde{p}_{L,i}} \quad (4.34)$$

- เมื่อ m_i คือ ขนาดของค่า Margin ที่มีค่าเป็นลบซึ่งแสดงถึงการสูญเสียโหลด i
 \tilde{f}_i คือ ความถี่ของการเกิดการสูญเสียโหลด i
 $\text{cen}(\cdot)$ เป็น สัญลักษณ์ที่แสดงถึงค่าจุดศูนย์กลางของตัวเลขพีชชี (Centered-value)
 \tilde{d}_i คือ ระยะเวลาที่เกิดการสูญเสียโหลด i
 $\tilde{c}(\text{cen}(\tilde{d}_i))$ คือ ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้มาจาก CCDF ที่สอดคล้องกับค่าจุดศูนย์กลางของ \tilde{d}_i
 $\tilde{p}_{L,i}$ คือ ความน่าจะเป็นแบบ Individual ของ m_i
 N คือ จำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดการสูญเสียโหลด หรือจำนวนสถานะที่มีค่า Margin เป็นลบ

จากสมการที่ 4.34 สังเกตว่า การใช้ค่าจุดศูนย์กลางของ \tilde{d}_i ในการคำนวณก็เพื่อที่จะคำนวณค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าจากฟังก์ชันความเสียหายโดยรวมของผู้ใช้ไฟฟ้าได้

4.5.4 การหาค่ากำลังการผลิตสำรองที่เหมาะสม

ระดับกำลังการผลิตที่เหมาะสมคือ กำลังการผลิตหลังจากที่ได้เพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i เข้ามาในระบบและเป็นเหตุให้ได้ค่า $E\tilde{E}NS_i$ ที่ทำให้ผลบวกของค่าใช้จ่ายรวมในสมการที่ 4.30 และ 4.33 มีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในสมการที่ 4.35 คือ

$$\min (\tilde{C}_{TP} + \tilde{C}_{IC}) \quad (4.35)$$

$$E\tilde{ENS}_i$$

$$\text{s.t. } L\tilde{OLE}_i \leq L\tilde{OLE}_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^G C_i \leq C_{T,\max}$$

- เมื่อ $L\tilde{OLE}_{\max}$ คือ ค่า $L\tilde{OLE}$ ที่มากที่สุดที่สามารถยอมรับได้
- $L\tilde{OLE}_i$ คือ ค่า $LOLE$ ที่เป็นตัวเลขฟัซซีที่ได้หลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i เข้าไปในระบบ
- $C_{T,\max}$ คือ ค่ากำลังการผลิตสูงสุดที่จะสามารถติดตั้งได้

จากสมการที่ 4.35 จะพบว่า การแก้ปัญหาการหาค่าต่ำสุดนี้จะเกี่ยวข้องกับปัญหาการเรียงลำดับตัวเลขฟัซซี (Ordering of a fuzzy number) ซึ่งค่อนข้างจะยุ่งยาก [3] ดังนั้น เพื่อให้การคำนวณมีความสะดวกขึ้น เราสามารถใช้ค่าจุดศูนย์กลางของตัวเลขฟัซซี (Centered-value) ในการพิจารณาเรียงลำดับตัวเลขฟัซซี 2 ตัว หรือมากกว่าได้ ซึ่งจะนำมาใช้แทนการคำนวณโดยตรง