บทที่ 4

การประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซตในการวิเคราะห์ดัชนีความปลอดภัย

4.1 กล่าวนำ

การวิเคราะห์ดัชนีความปลอดภัยบนท้องถนนระดับเขตการเลือกตั้ง ดังวิธีการที่ผู้ศึกษาได้นำเสนอในบทที่ 3 เป็นความพยายามในการคำนวณค่าดัชนีความปลอดภัยที่สรุปผลออกมาในรูปของตัวเลข โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ดัชนี ROSA Index (วิวัฒน์ สุทธิวิภากร และศักดิ์ชัย ปรีชาวีรกุล, 2542) ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ดัชนีความปลอดภัยดังกล่าวนี้ สามารถที่จะนำมาเป็นเครื่องมือให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องและหน่วยงานรับผิดชอบได้พิจารณาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาความไม่ปลอดภัยบนท้องถนนทั้งในเชิงนโยบายและในเชิงปฏิบัติต่อไป อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบอยู่บ้างต่อการวิเคราะห์ดัชนีนั่นคือ ความน่าเชื่อและความถูกต้องของข้อมูลซึ่งจากข้อจำกัดของการศึกษานี้ที่ระบุไว้ว่า ข้อมูลสถิติอุบัติเหตุบนท้องถนนที่นำมาใช้เพื่อการคำนวณค่าดัชนีความปลอดภัยระดับเขตนี้ จะพิจารณาเฉพาะกรณีอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนทางหลวงที่อยู่ในความดูแลของกรมทางหลวงเท่านั้น ซึ่งการบันทึกข้อมูลของหน่วยงานกรมทางหลวงจะมีข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้านกล่าวคือ จะบันทึกข้อมูลอุบัติเหตุเฉพาะกรณีที่เกิดขึ้นบนทางหลวงและทำให้ทรัพย์สินทางของราชการเกิดความเสียหายเท่านั้น ความครบถ้วนการรายงานข้อมูลในช่วงเวลากลางคืนและวันหยุดจะต่ำกว่าความเป็นจริงเนื่องจากไม่มีเจ้าหน้าที่ตรวจสายทางจึงทำให้ข้อมูลในส่วนนี้ขาดหายไปและในกรณีที่เจ้าหน้าที่กรมทางหลวงเก็บรวบรวมข้อมูลจากสถานีตำรวจต่าง ๆ จะได้ข้อมูลเฉพาะที่เป็นรายคดีเท่านั้น (สมศักดิ์ ชุณหรัศมิ์ และคณะ, 2539) จากข้อจำกัดข้างต้นส่งผลให้ข้อมูลอุบัติเหตุที่ได้รับรายงานจากกรมทางหลวงนั้นไม่สอดคล้องกับสภาพที่เป็นอยู่จริงนัก ดังนั้นการจัดการกับปัญหาความไม่สมบูรณ์และความไม่ถูกต้องของข้อมูลจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้

ฟัซซีเซต เป็นทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ทฤษฎีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่า เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถในการจัดการกับปัญหาความไม่แน่นอนและความไม่สมบูรณ์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปัญหาที่มีหรือเกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ความไม่แน่นอนแบบเชิงสุ่ม ความไม่แน่นอนที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล และความไม่แน่นอนที่เกิดจากความไม่ถูกต้องของข้อมูล (วิวาศ วูวงศ์ และบุญเจริญ ศิริเนาวกุล, 2535) ในบทนี้ จะนำเสนอแนวทางการประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซตสำหรับวิเคราะห์ดัชนีความปลอดภัยบนท้องถนนระดับ

เขตการเลือกตั้งเพื่อพิจารณาเป็นทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากวิธีการวิเคราะห์ดัชนีความปลอดภัยระดับเขตดังที่นำเสนอไว้ในบทที่ 3

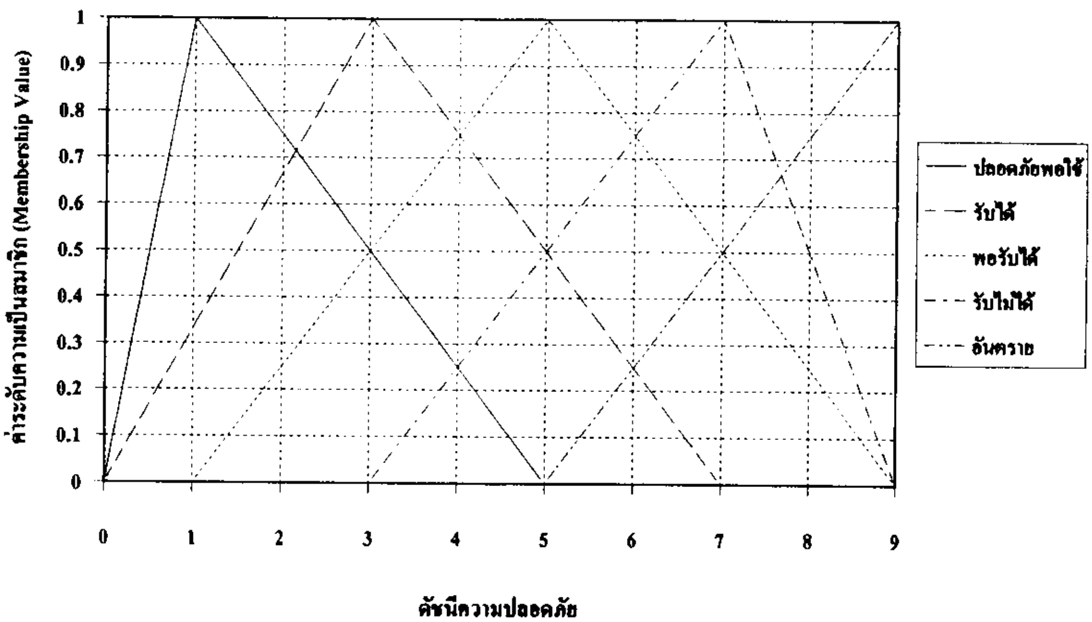
4.2 ทฤษฎีฟัซซีเซต

4.2.1 ฟัซซีเซต

ทฤษฎีฟัซซีเซต นำเสนอเป็นบทความครั้งแรกในวารสารทางวิชาการเรื่อง “Fuzzy Sets” (Zadeh L.A., 1965) ซาเดห์ได้ให้นิยามฟัซซีเซตไว้ว่า “เป็นเซตที่มีระดับของความเป็นสมาชิกที่ต่อเนื่อง” โดยเซตที่พิจารณาจะมองในรูปฟังก์ชันที่เรียกว่า ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกหรือฟังก์ชันสมาชิกภาพ (membership function) ซึ่งสมาชิกแต่ละตัวในเซตจะแทนด้วยค่าความเป็นสมาชิกของตัวมันเอง (membership value) ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเป็นสมาชิกในทฤษฎีเซตแบบดั้งเดิม (ordinary sets theory) พบว่า ค่าระดับความเป็นสมาชิกแต่ละค่าในเซตจะแทนเพียงค่าใดค่าหนึ่งระหว่าง 0 และ 1 ซึ่งหมายถึง การไม่มีค่าความเป็นสมาชิกในเซตเลยและการมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตโดยสมบูรณ์ ตัวอย่างการเปรียบเทียบตัวอย่างแรก เช่น หากพิจารณาว่า “เขตการเลือกตั้งใดมีค่าดัชนีสูงกว่าค่าเฉลี่ยของทั้งจังหวัด เขตเลือกตั้งดังกล่าวนั้นจะต้องได้รับการปรับปรุงด้านความปลอดภัยบนท้องถนน” ตัวอย่างที่สอง หากพิจารณาว่า “เขตเลือกตั้งที่มีระดับความปลอดภัยอยู่ในระดับ *อันตราย* เขตเลือกตั้งนั้นจะต้องได้รับการปรับปรุงด้านความปลอดภัยบนท้องถนน” จะเห็นได้ว่าในตัวอย่างแรกนั้นเป็นการสร้างข้อกำหนดที่สามารถสื่อความหมายที่ชัดเจนว่า เขตเลือกตั้งใด เป็นหรือไม่เป็น สมาชิกของเซตที่ต้องได้รับการปรับปรุง (โดยอ้างอิงกับค่าดัชนีเฉลี่ยทั้งจังหวัด) ซึ่งอาจแทนค่าความเป็นสมาชิก เป็น 0 หรือ 1 ขณะที่ในตัวอย่างที่สอง เป็นการตัดสินใจภายใต้การพิจารณา (subjective decision) ของสภาพที่เกิดขึ้นว่า เขตเลือกตั้งใดควรเป็นสมาชิกของเซตระดับ *อันตราย* ที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงด้านความปลอดภัย การประยุกต์ฟัซซีเซตสามารถแทนได้ด้วยระดับ (degree) ความเป็นสมาชิกว่า มีระดับความเป็นสมาชิกในเซต *อันตราย* จาก 0 (ไม่มีความเป็นสมาชิกเลย) จนถึง 1 (มีความเป็นสมาชิกโดยสมบูรณ์)

วิวัฒน์ สุทธิวิภากร และศักดิ์ชัย ปรีชาวีรกุล (2542) ทำการวิจัยเรื่อง “การสร้างดัชนีวัดระดับความปลอดภัยบนท้องถนน (<u>RO</u>ad <u>SA</u>fety Index : ROSA) โดยเป็นการสร้างดัชนีเปรียบเทียบความปลอดภัยบนท้องถนนระดับจังหวัดทั้ง 76 จังหวัดในประเทศไทย ดัชนีที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-9 โดยค่าที่มากกว่า หมายถึงความปลอดภัยที่น้อยกว่า ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กระจายช่วงค่าดัชนีที่คำนวณได้เพื่อกำหนดระดับความปลอดภัยบนท้องถนนโดยแทนด้วยคำพูดทางภาษาแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ *ปลอดภัยพอใช้, รับได้, พอรับได้, รับไม่ได้ และอันตราย* คำพูดทางภาษาเหล่านี้เมื่อ

ประยุกต์กับทฤษฎีฟัซซีเซตอาจแทนได้ด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ดังภาพประกอบ 4.1 เป็นตัวอย่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่แทนด้วยระดับความปลอดภัย โดยที่แกนนอน หมายถึง ดัชนีความปลอดภัย และแกนตั้ง หมายถึง ค่าระดับความเป็นสมาชิก



ภาพประกอบ 4.1 ดัชนีระดับความปลอดภัยบนท้องถนนซึ่งแทนด้วยฟัซซีเซต

ภาพประกอบ 4.1 เป็นตัวอย่างการประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซตซึ่งแทนด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระดับความปลอดภัยในแต่ละระดับซึ่งโดยทั่วไปเราสามารถหาค่าระดับความเป็นสมาชิกได้โดยคำนวณในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยมดังที่แทนในภาพประกอบโดยส่วนใหญ่แล้วจะถูกกำหนดเป็นสมมุติฐานเบื้องต้นสำหรับการพิจารณาเนื่องจากมีความสมเหตุสมผลในตัวเองและง่ายต่อการตีความ(ช่วงยิ่งกว้างระดับความเชื่อมั่นยิ่งลดลง) ตัวอย่างฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในฟัซซีเซตระดับ *พอรับได้* สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้:

$$
\begin{aligned}
\mu_A(x) &= 0 && x \leq 1 \\
&= (x-1)/4 && 1 \leq x \leq 5 \\
&= (-x+9)/4 && 5 \leq x \leq 9 \\
&= 0 && x \geq 9 \qquad (4.1)
\end{aligned}
$$

กรณีเช่นนี้ หากทราบว่าดัชนีความปลอดภัยบนท้องถนนมีค่าเท่ากับ 3 เราก็สามารถรู้ได้ว่า ค่าดังกล่าวนี้จะเป็นสมาชิกของเซตระดับ *พอรับได้* โดยมีค่าระดับความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5 หรืออาจแทนได้ว่า ค่าดัชนีมีค่าเท่ากับ 7 ที่ระดับความเป็นสมาชิก 0.5

4.2.2 จำนวนฟัซซี (Fuzzy Numbers)

การจัดการกับจำนวนเชิงตัวเลขส่วนใหญ่เรามักพบว่า จะเป็นการพยายามแทนขอบเขตของจำนวนที่ไม่แน่นอนด้วยค่า ๆ หนึ่ง ตัวอย่างเช่น การแปรค่าตัวชี้วัดให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ ในบทที่ 3 ค่าตัวชี้วัดจะถูกแบ่งเป็นช่วงตามความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าตัวชี้วัดนั้น ซึ่งช่วงในที่นี้อาจเรียกว่า ช่วงความเชื่อมั่น (Interval of confidence) จากนั้นจึงพิจารณาค่าตัวชี้วัดว่าตกอยู่ในช่วงใดเพื่อแทนเป็นค่าสัมประสิทธิ์หรือน้ำหนักความรุนแรง ซึ่งน้ำหนักความรุนแรงนี้จะถือเป็นตัวแทนของข้อมูลในช่วงดังกล่าวทั้งหมด เมื่อพิจารณาภาพประกอบ 4.1 ระดับความปลอดภัยบนท้องถนน อาจแทนเป็นช่วงความเชื่อมั่น หรือระดับการสันนิษฐาน (presumption หรือ α - Level) ในฟัซซีเซตเรียกว่า ค่าความเป็นสมาชิก เช่น ถ้ากำหนดที่ระดับการสันนิษฐาน ที่ 0.5 ความปลอดภัยระดับ *พอรับได้* ดัชนีมีค่าอยู่ในช่วง [3, 7] ระดับการสันนิษฐานเป็น 1 ดัชนีจะมีค่าเท่ากับ 5 เป็นต้น ซึ่งแนวคิดของช่วงความเชื่อมั่น และระดับการสันนิษฐาน เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้อธิบายความหมายของฟัซซีเซตและจำนวนฟัซซี (Prechaverakul, S. 1995. อ้างถึงใน Kaufmann, A. and Gupta, M.M., 1985)

โดยทั่วไป จำนวนฟัซซี (fuzzy number) จะนิยามได้ว่า จำนวนฟัซซีเป็นฟัซซีเซตของจำนวนจริงที่ต่อเนื่อง (Dubois, D., and Prade, H. 1978) ซึ่งสามารถใช้แทนค่าในเชิงปริมาณ เช่น *"ราว ๆ 5"*, *"ช่วงปิด 5"* หรือ *"ประมาณ 5"* ความหมายทางคณิตศาสตร์ของจำนวนฟัซซีอธิบายได้ดังนี้:

คุณสมบัติจำนวนฟัซซี (Fuzzy Numbers)

Dubois, D., and Prade, H. (1978) นำเสนอบทความทางวิชาการเรื่อง "Operation on fuzzy numbers" โดยให้นิยามจำนวนฟัซซีไว้ว่า " เป็นฟัซซีเซตของจำนวนจริงที่ต่อเนื่อง (real line or real axis) แทนด้วยสัญลักษณ์ R" ระดับความเป็นสมาชิก $\mu_{\tilde{n}}$ กำหนดคุณสมบัติดังนี้ : (พิจารณาร่วมกับภาพประกอบ 4.2 และภาพประกอบ 4.3)

1) มีค่าระดับความเป็นสมาชิกที่ต่อเนื่องใน R บนช่วงปิด $[0,1]$
2) มีค่าคงที่บนช่วง $(-\infty,c]$: $\mu_{\tilde{n}}(x) = 0$; $\forall x \in (-\infty,c]$,
3) มีค่าที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 1 บนช่วงปิด $[c,a]$

4) มีค่าคงที่บนช่วงปิด $[a,b]$: $\mu_{\bar{n}}(x) = 1$; $\forall x \in [a, b]$,

5) มีค่าลดลงจาก 1 ถึง 0 บนช่วงปิด $[b,d]$

6) มีค่าคงที่บนช่วง $(d, +\infty)$: $\mu_{\bar{n}}(x) = 0$; $\forall x \in [d, +\infty]$,

โดยที่ a, b, c และ d เป็นค่าจำนวนจริง (real number) ดังนั้นค่าที่สามารถเป็นไปได้คือ $c = -\alpha$,หรือ $a = b$, หรือ $c = a$, หรือ $b = d$ หรือ $d = +\infty$ ถ้า $a = c = b = d$; $\bar{n}$ จะเป็นค่าจำนวนจริง, ถ้า $a = c$ และ $b = d$; $\bar{n}$ จะเป็นค่าที่วัดเชิงปริมาณบนช่วง $[a, b]$ และถ้า a = b ; $\bar{n}$ จะเป็นจำนวนฟัซซีรูปสามเหลี่ยม (triangular fuzzy number) ที่เขียนแทนโดย $\bar{n} = (c, a, d)$ หรือ อาจเรียกว่า "ค่าประมาณ a (approximately a)"

Wang, L.X., (1997) ให้นิยามจำนวนฟัซซีไว้ว่า กำหนดให้ A เป็นฟัซซีเซต ใน R เราจะเรียกว่าเป็น จำนวนฟัซซี (fuzzy number) ถ้า:

1) A เป็น เซตนูน (convex) (นิยาม 2.3 บทที่ 2)

2) A เป็น เป็นเซตปกติ (normal) (นิยาม 2.6 บทที่ 2)

3) A เป็น ซัพพอร์ต (support) (นิยาม 2.8 บทที่ 2)

4) ทุก ๆ α - cut ของ A เป็นช่วงปิดของ R $\rightarrow [0, 1]$

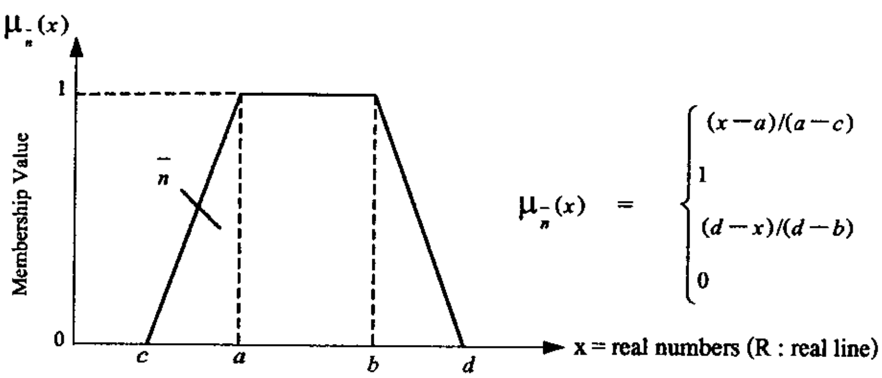
Klir, G.J., Clair, U.S. and Yuan, B. (1997) นิยามคุณสมบัติความเป็นจำนวนฟัซซี (fuzzy number) ไว้ดังนี้ :

1) จำนวนฟัซซี เป็นเซตปกติ (normal) ในฟัซซีเซต

2) ทุก ๆ α - cut ของจำนวนฟัซซีเป็นช่วงปิดบนจำนวนจริง

3) ซัพพอร์ต (support) ของจำนวนจริงเป็นช่วงเปิด (a, d)

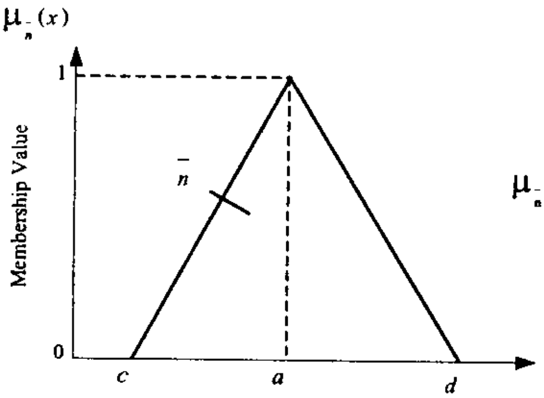
4) จำนวนฟัซซีเป็น เซตนูน (convex) ในฟัซซีเซต



$$\mu_{\bar{n}}(x) = \begin{cases} (x-a)/(a-c) & \text{for } c \leq x \leq a \\ 1 & \text{for } a \leq x \leq b \\ (d-x)/(d-b) & \text{for } b \leq x \leq d \\ 0 & \text{if } x \leq c \text{ or } x \geq d \end{cases}$$

ภาพประกอบ 4.2 ตัวอย่างฟังก์ชันและค่าความเป็นสมาชิกรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

(Trapezoidal fuzzy number (Quadruple $\bar{n} = c, a, b, d$))



$$\mu_{\bar{n}}(x) = \begin{cases} (x-c)/(a-c) & for \;\; c \leq x \leq a \\ (d-x)/(d-a) & for \;\; a \leq x \leq d \\ 0 & if \;\; x \leq c \; or \; x \geq d \end{cases}$$

ภาพประกอบ 4.3 ตัวอย่างฟังก์ชันและค่าความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม (Triangular fuzzy number (or TFN triple $\bar{n} = c, a, d$))

คุณสมบัติทางคณิตศาสตร์ดังที่กล่าวมา เมื่อนำมาประยุกต์ในทางปฏิบัติแนวคิดทฤษฎีฟัซซีเซตอาจอธิบายได้ว่า จำนวนฟัซซีเป็นฟัซซีเซตที่ใช้แทนจำนวนจริง (ค่าเดียว) ที่มีค่าไม่แน่นอน ซึ่งจะเห็นได้จากการกำหนดให้มีสมาชิกใน UOD (Universe of Discourse : เอกภพสัมพัทธ์แห่งการบรรยาย) เพียงตัวเดียวที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 1 (triangular fuzzy number) นั่นคือ เป็นสมาชิกที่มีความเป็นไปได้ที่จะเป็นตัวแทนของจำนวนฟัซซีดังกล่าวมากที่สุด

การศึกษานี้จำนวนฟัซซีจะแทนด้วยตัวแปรทางภาษาในระดับความรุนแรง และน้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัด เลขคณิตฟัซซี (fuzzy arithmetic) จะใช้เป็นตัวดำเนินการในการจัดการกับจำนวนฟัซซีซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2.3 เลขคณิตฟัซซี (Fuzzy arithmetic)

เมื่อพิจารณาแนวคิด α - level จำนวนฟัซซี A และ B แทนด้วย A_α และ B_α เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ : (Lin, C.T., and Lee, C.S.G., 1996)

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] \qquad B_\alpha = [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}] \tag{4.2}$$

ในที่นี้ a_1, a_2 และ b_1, b_2 แทนด้วยค่าของเขตบน (upper bounds) และขอบเขตล่าง (lower bounds) ของจำนวนฟัซซี A และ B ตามลำดับ (ภาพประกอบ 4.4) ตัวดำเนินการต่าง ๆ ทั้งหมด ประกอบด้วย :

- การคูณกันของจำนวนฟัซซี

$$A_\alpha(\cdot)B_\alpha \quad = \quad [a_1^{(\alpha)} \cdot b_1^{(\alpha)},\ a_2^{(\alpha)} \cdot b_2^{(\alpha)}] \tag{4.3}$$

- การคูณกัน และการหารกันของจำนวนฟัซซี กับค่าคงที่ใด ๆ

$$K \cdot A_\alpha \quad = \quad [Ka_1^{(\alpha)}, Ka_2^{(\alpha)}] \quad , \quad A(:)K \quad = \quad \left[\frac{a_1^{\alpha}}{K}, \frac{a_2^{\alpha}}{K}\right] \tag{4.4}$$

โดยที่ K หมายถึง ค่าคงที่ใด ๆ

- การหารกันของจำนวนฟัซซี

$$A_\alpha(:)B_\alpha \quad = \quad \left[\frac{a_1^{(\alpha)}}{b_2^{(\alpha)}}, \frac{a_2^{(\alpha)}}{b_1^{(\alpha)}}\right] \qquad b_2^{(\alpha)} > 0 \tag{4.5}$$

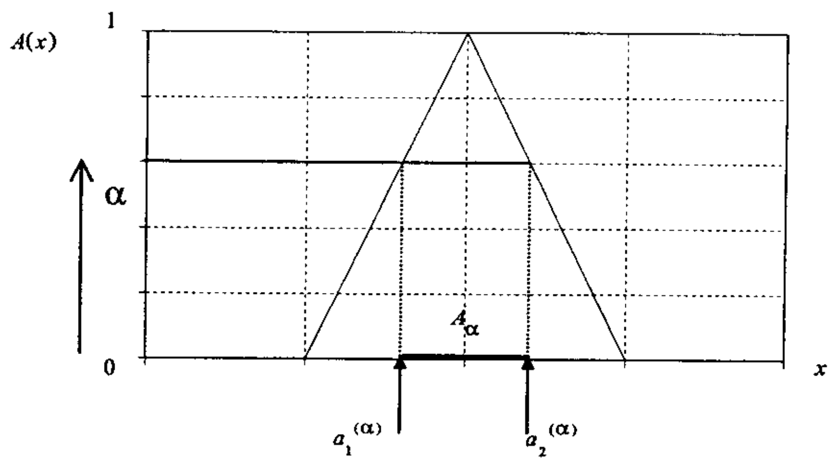
- การบวกกันของจำนวนฟัซซี

$$A_\alpha(+)B_\alpha \quad = \quad [a_1^{(\alpha)} + b_1^{(\alpha)},\ a_2^{(\alpha)} + b_2^{(\alpha)}] \tag{4.6}$$

- การลบกันของจำนวนฟัซซี

$$A_\alpha(-)B_\alpha \quad = \quad [a_1^{(\alpha)} + b_2^{(\alpha)},\ a_2^{(\alpha)} + b_1^{(\alpha)}] \tag{4.7}$$

สมการ (4.3) ถึง สมการ (4.7) เป็นตัวดำเนินการเพื่อใช้จัดการกับจำนวนฟัซซีบนแนวคิดของ α-level ซึ่งจะคำนวณทุก ๆ ระดับ จาก 0 ถึง 1 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสามารถแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์และใช้ตัวดำเนินการข้างต้นในการจัดการเพื่อหาผลลัพธ์ต่อไป



ภาพประกอบ 4.4 ตัวอย่างโครงสร้าง α-Level บนจำนวนฟัซซี A

(Klir, G.J., Clair, U.S. and Yuan, B., 1997)

4.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณดัชนี กรณีประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซต

แนวคิดของการวิเคราะห์ดัชนีความปลอดภัยบนท้องถนนระดับเขตการเลือกตั้งตามแนวทางที่ดำเนินการในวิทยานิพนธ์นี้ ดัชนีที่คำนวณได้ (บทที่ 3 สมการ(3.6)) เกิดจากผลรวมผลคูณของน้ำหนักความรุนแรง และน้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัด โดยน้ำหนักความรุนแรงกำหนดให้มีได้ 5 ค่า คือ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 ซึ่งค่าน้ำหนักความรุนแรงนี้กำหนดตามความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวชี้วัด สำหรับน้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัดนั้นกำหนดให้มีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มใด ๆ (หกค่า หกตัวชี้วัด) จาก 0 ถึง 10 โดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า น้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัดทั้ง 6 เมื่อรวมเข้าด้วยกันแล้วให้มีค่าเท่ากับ 10 เพื่อผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ดัชนีมีค่าอยู่ระหว่าง 1-9 โดยดัชนีที่มีค่ามากกว่า หมายถึง ระดับความปลอดภัยที่ลดลงตามลำดับ

การประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซต ตามแนวทางที่นำเสนอนี้ยังคงใช้หลักการดังที่กล่าวมาคือ ดัชนีที่คำนวณได้จะเกิดจากผลรวมของผลคูณของน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัด กับน้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัด น้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดในที่นี้ได้จากการแปลงค่าระดับความรุนแรงของตัวชี้วัดซึ่งกำหนดเป็นจำนวนฟัซซีซึ่งแทนด้วยตัวแปรทางภาษา 3 ระดับ คือ *น้อย, ปานกลาง* และ *มาก* โดยแบ่งช่วงความรุนแรงตามความสัมพันธ์ของค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ให้เป็นค่าน้ำหนักความรุนแรงซึ่งแทนด้วยจำนวนฟัซซีในตัวแปรทางภาษาเชิงปริมาณคือ *"ประมาณ 0.1"*, *"ประมาณ 0.5"* และ*"ประมาณ 0.9"* ส่วนค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัดยังคงกำหนดเป็นค่าคงที่ (น้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัดกำหนดตามแนวทางที่นำเสนอในบทที่ 3 แสดงในตาราง 4.1) โดยแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าดัชนีเขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้:

$$\text{FUZZY Index} = \sum_{i=1}^{n} W_i f_i \qquad (4.8)$$

โดยที่ FUZZY Index หมายถึง ดัชนีวัดระดับความปลอดภัยบนท้องถนนระดับเขตการเลือกตั้ง
w_i หมายถึง น้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัดแต่ละตัว (ตาราง 4.1)
f_i หมายถึง จำนวนฟัซซีแทนน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดแต่ละตัว
n หมายถึง จำนวนของตัวชี้วัดในแบบจำลอง

สมการ (4.8) เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ในกรณีประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซต โดยมีลักษณะแบบเดียวกับสมการการคำนวณดัชนี CONROSA ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตามแบบจำลองนี้จะยัง

คงทำให้ค่าดัชนีมีค่าอยู่ระหว่าง 1-9 เช่นเดิม ส่วนประกอบของแบบจำลองจะแตกต่างกันตรงที่การพิจารณาค่าน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัด ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

4.4 การคำนวณค่าดัชนีโดยใช้เลขคณิตฟัซซี (Fuzzy Arithmetic)

4.4.1 การแทนระดับความรุนแรงของตัวชี้วัดด้วยจำนวนฟัซซี

ระดับความรุนแรงของตัวชี้วัดทั้ง 6 นี้ ผู้ศึกษากำหนดให้แทนด้วยตัวแปรทางภาษา 3 ระดับ คือ *น้อย, ปานกลาง* และ*มาก* (ภาพประกอบ 4.5 - 4.10)โดยกำหนดระดับความรุนแรงนี้ในรูปของจำนวนฟัซซีโดยกำหนดให้แกนนอน หมายถึงค่าของตัวชี้วัดที่คำนวณได้ และแกนตั้ง หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น (ค่าความเป็นสมาชิก) การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกนี้โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคทางด้านสถิติต่าง ๆ เป็นตัวช่วยเพื่อกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก แต่วิธีการที่นิยมนำมาพิจารณากันอย่างกว้างขวางแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือวิธีการวัดจากช่วงความถี่ของข้อมูลและวิธีการประมาณโดยตรง วิธีวัดจากช่วงความถี่ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะวัดในรูปของเปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด ส่วนวิธีการประมาณโดยตรงนั้นจะกำหนดขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้น ๆ แนวทางดังกล่าวจะนำมาพิจารณาในการศึกษานี้เสมือนหนึ่งผู้ศึกษาเป็นผู้เชี่ยวชาญคนหนึ่งและนอกจากนี้ ผู้ศึกษาจะอาศัยแนวทางการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกตามข้อเสนอแนะในบทความเรื่อง "Clear thinking on fuzzy logic" (Lawrence.,A .,1992) ที่ระบุว่า "ผู้เชี่ยวชาญยอมรับว่า รูปร่างของฟังก์ชันมีความวิกฤติน้อยกว่าจำนวนของฟังก์ชันและค่าที่กำหนด ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกควรกำหนดให้มี 3-7 ฟังก์ชัน และมีระยะซ้อนทับระหว่างกัน 50% "

4.4.2 การแทนน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดด้วยจำนวนฟัซซี

น้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดนี้ กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของระดับความรุนแรงของตัวชี้วัดทุกตัว (ภาพประกอบ 4.11) โดยการประยุกต์ฟัซซีเซตนี้จะกำหนดน้ำหนักเป็นค่าในเชิงปริมาณเพียงเป็น 3 ค่าเท่านั้น คือ "*ประมาณ 0.1*", "*ประมาณ 0.5*" และ "*ประมาณ 0.9*" น้ำหนักความรุนแรงแทนด้วยจำนวนฟัซซีที่มีลักษณะฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยมโดยมีส่วนซ้อนทับ (overlapping) ระหว่างกันประมาณ 50% และมีจุดยอด (ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1) สัมพันธ์กับค่าน้ำหนักที่กำหนดคือ 0.1, 0.5 และ 0.9 ซึ่งการพิจารณาว่าควรให้น้ำหนักกับตัวชี้วัดเป็นค่าใดนั้น ผู้ศึกษาได้ประยุกต์การกำหนดเงื่อนไขขึ้นมาคล้ายกับกฎเงื่อนไขในด้านตรรกศาสตร์ (If...Then) ผ่านทางค่าความเป็นสมาชิกในเซตระดับความรุนแรงของตัวชี้วัด กฎที่ตั้งขึ้นเพื่อนำมาพิจารณานี้จะแตกต่างจากการกฎที่ประยุกต์ในทฤษฎีฟัซซีลอจิก เนื่องจากอินพุต และเอาต์พุต ไม่ได้

สัมพันธ์กันตามเงื่อนไขแต่อย่างใด เป็นเพียงกฎที่ตั้งขึ้นเพื่อพิจารณากำหนดน้ำหนักความรุนแรงเท่านั้น

เงื่อนไขการพิจารณากำหนดน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัด ดังนี้ :

<u>เงื่อนไขที่หนึ่ง</u>

- ถ้า ค่าตัวชี้วัดตกอยู่ในเซต ระดับความรุนแรง *<u>น้อย</u>* เมื่อนั้นกำหนดน้ำหนัก *<u>“ประมาณ 0.1”</u>*

<u>เงื่อนไขที่สอง</u>

- ถ้า ค่าตัวชี้วัดตกอยู่ในเซต ระดับความรุนแรง *<u>ปานกลาง</u>* เมื่อนั้นกำหนดน้ำหนัก *<u>“ประมาณ 0.5”</u>*

<u>เงื่อนไขที่สาม</u>

- ถ้า ค่าตัวชี้วัดตกอยู่ในเซต ระดับความรุนแรง *<u>มาก</u>* เมื่อนั้นกำหนดน้ำหนัก *<u>“ประมาณ 0.9”</u>*

การพิจารณาระดับความรุนแรงจะพิจารณาจากเซตที่ให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกที่มากกว่าเป็นเกณฑ์กำหนดเบื้องต้น ตัวอย่างเช่น หากค่าตัวชี้วัดอัตราการเกิดอุบัติเหตุ ต่อประชากรแสนคนคำนวณได้มีค่าเท่ากับ 6 (ภาพประกอบ 4.5) เมื่อพิจารณาจากค่าความเป็นสมาชิกพบว่า ค่าตัวชี้วัดนี้จะตกอยู่ในทั้งเซต ระดับความรุนแรง *น้อย ปานกลาง* และ*มาก* ดังนั้นจะพิจารณาให้ค่าตัวชี้วัดนี้ เป็นเซตของ ระดับความรุนแรง *น้อย* เป็นต้น

น้ำหนักความรุนแรง (ภาพประกอบ 4.11) เขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ :

- *ประมาณ 0.1* (0, 0.1, 0.7)

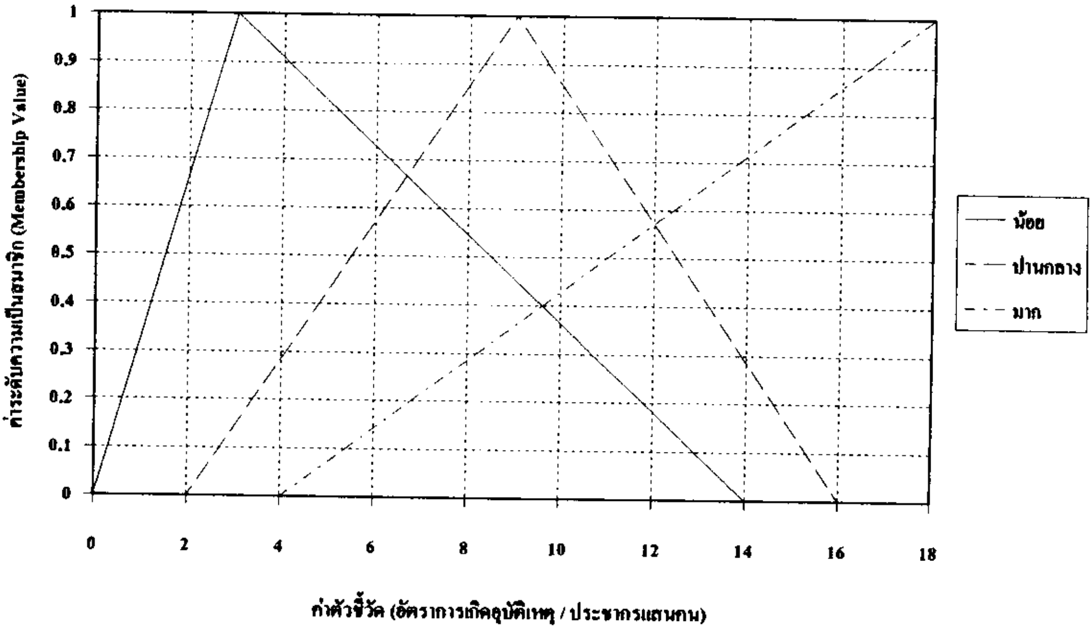
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x = 0 \\ 10x & 0 \le x \le 0.1 \\ (-10x + 7)/6 & 0.1 \le x \le 0.7 \\ 0 & x \ge 0.7 \end{cases} \tag{4.9}$$

- *ประมาณ 0.5* (0.1, 0.5, 0.9)

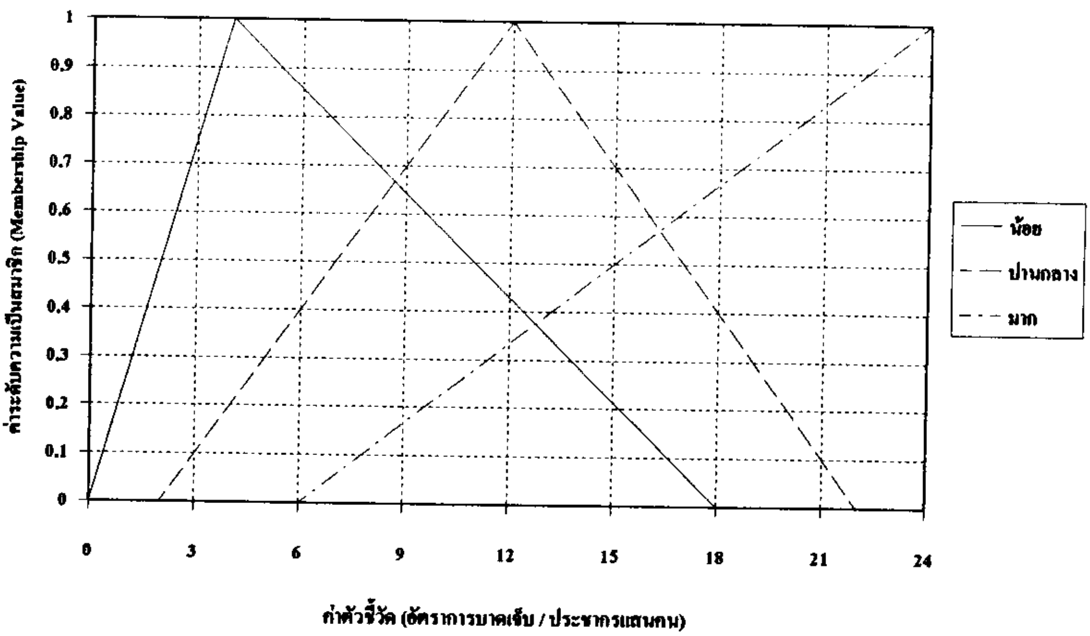
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0.1 \\ (10x - 1)/4 & 0.1 \le x \le 0.5 \\ (-10x + 9)/4 & 0.5 \le x \le 0.9 \\ 0 & x \ge 0.9 \end{cases} \tag{4.10}$$

- *ประมาณ 0.9* (0.3, 0.9, 0.9)

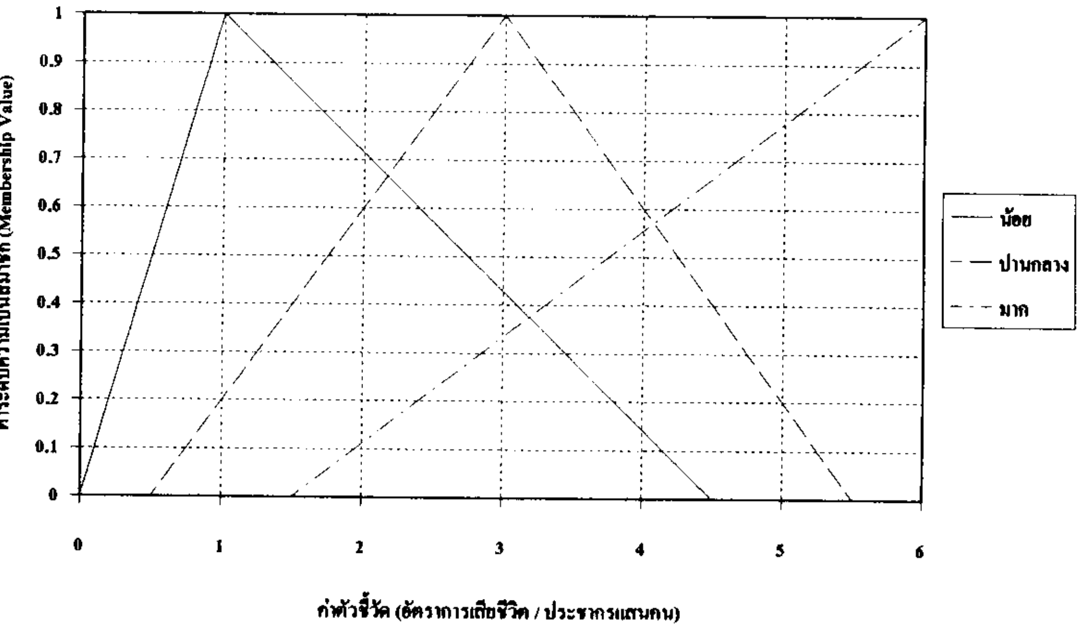
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \le 0.3 \\ (10x - 3)/6 & 0.3 \le x \le 0.9 \\ 1 & x = 0.9 \end{cases} \tag{4.11}$$



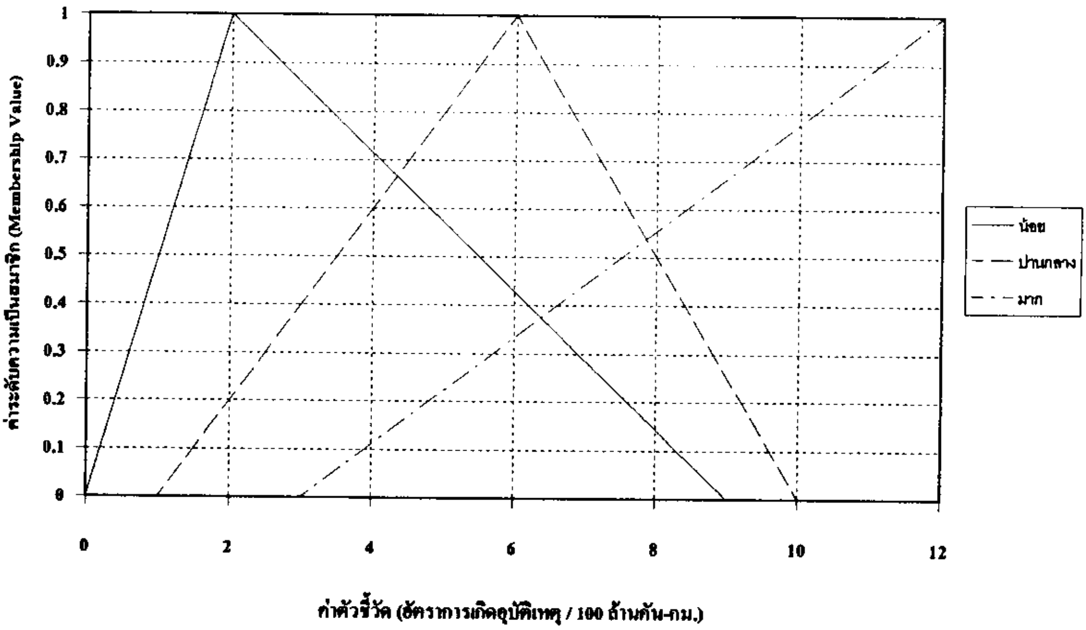
ภาพประกอบ 4.5 จำนวนฟัซซีระดับความรุนแรง (อัตราการเกิดอุบัติเหตุ ต่อประชากรแสนคน)



ภาพประกอบ 4.6 จำนวนฟัซซีระดับความรุนแรง (อัตราการบาดเจ็บ ต่อประชากรแสนคน)



ภาพประกอบ 4.7 จำนวนฟัซซีระดับความรุนแรง (อัตราการเสียชีวิต ต่อประชากรแสนคน)



ภาพประกอบ 4.8 จำนวนฟัซซีระดับความรุนแรง (อัตราการเกิดอุบัติเหตุ ต่อปริมาณการเดินทาง ร้อยล้านคัน-กิโลเมตร)

4.4.3 ตัวอย่างการคูณของจำนวนฟัซซี (Multiplication of Fuzzy Numbers)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership functions) ของน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดแต่ละตัวจะแทนด้วยจำนวนฟัซซี (ภาพประกอบ 4.11) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การคำนวณดัชนีความปลอดภัยในการศึกษานี้จะใช้สมการ (4.8) ซึ่งจะประกอบด้วยผลรวมของผลคูณน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดกับค่าคงที่ (น้ำหนักความสำคัญตัวชี้วัด) โดยอาศัยสมการ (4.4) และสมการ (4.6) ดังตัวอย่างการคูณกันดังนี้:

ตัวอย่าง กำหนดให้ A เป็นจำนวนฟัซซีซึ่งแทนด้วยน้ำหนักความรุนแรง *"ประมาณ 0.5"* และ B แทนน้ำหนักความสำคัญของ ตัวชี้วัดอัตราการเสียชีวิตต่อปริมาณการเดินทางร้อยล้านคัน-กิโลเมตร ของเขตเลือกตั้งที่ 8 ในปี พ.ศ. 2540 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแทนด้วยคณิตศาสตร์ ดังนี้ :

$$
\begin{aligned}
\mu_A(x) &= 0 && x \le 0.1 \\
&= (10x-1)/4 && 0.1 \le x \le 0.5 \\
&= (-10x+9)/4 && 0.5 \le x \le 0.9 \\
&= 0 && x \ge 0.9
\end{aligned}
\tag{4.12}
$$

แทน $\mu_A(x)$ ด้วย α-level จากสมการ (4.2) จะได้ว่า

$$\alpha = \frac{10a_1^{(\alpha)}}{4} - \frac{1}{4} \quad \text{และ} \quad \alpha = -\frac{10a_2^{(\alpha)}}{4} + \frac{9}{4} \tag{4.13}$$

ดังนั้น

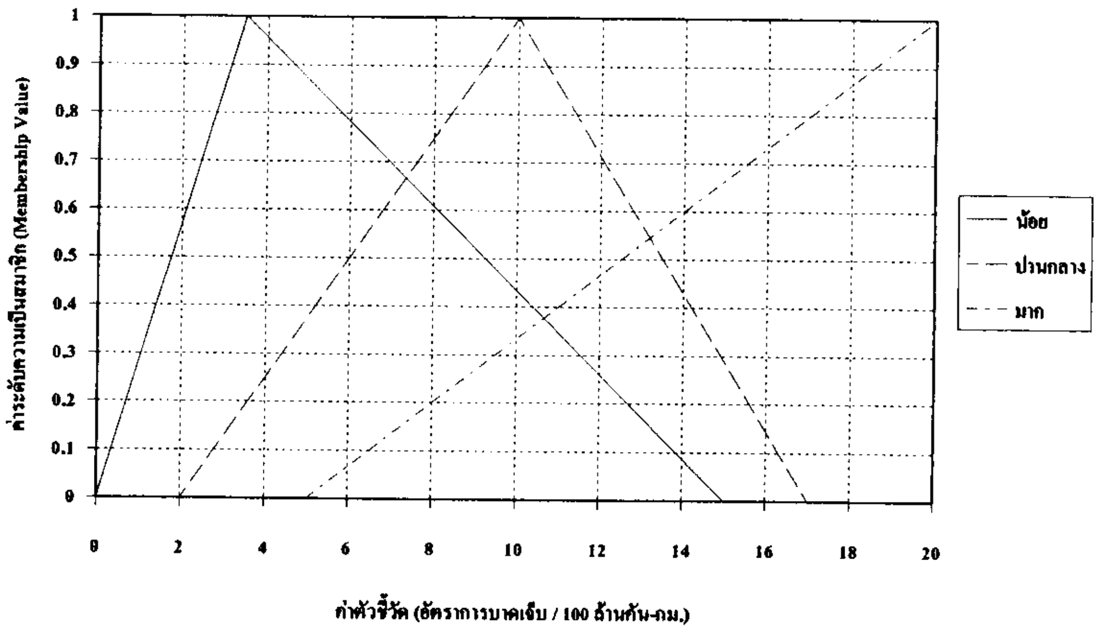
$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] = [(4\alpha+1)/10, (-4\alpha+9)/10] \tag{4.14}$$

เนื่องจากค่า B เป็นค่าคงที่ (น้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัด ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 3)

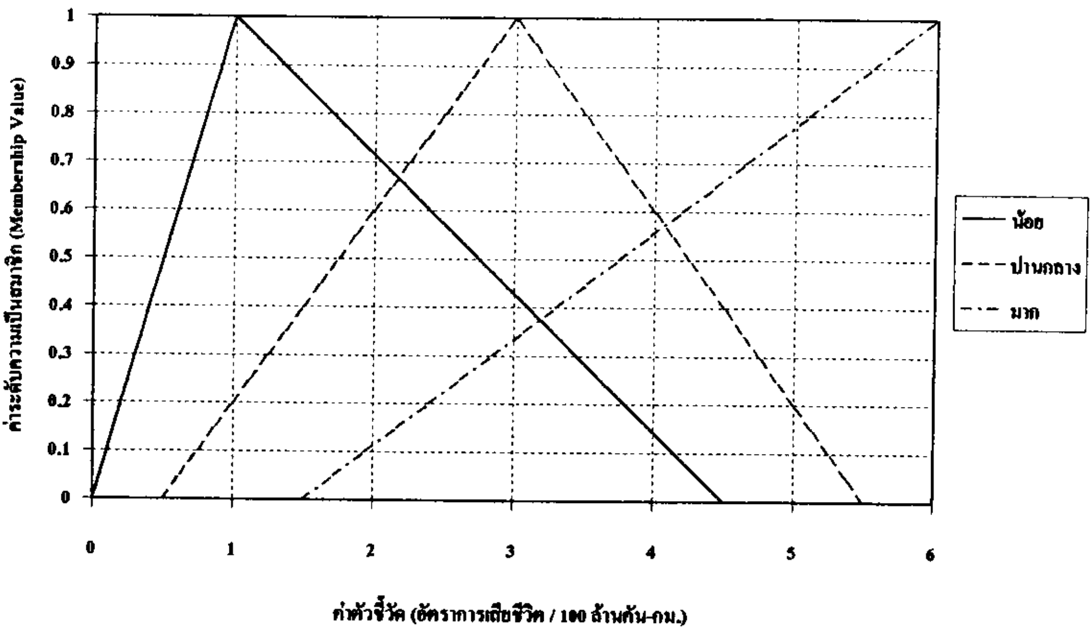
$$B = K(=3) \tag{4.15}$$

จากสมการ (4.3) การคูณกันของ A_α และ B (ค่าคงที่) เขียนในรูปสมการคือ

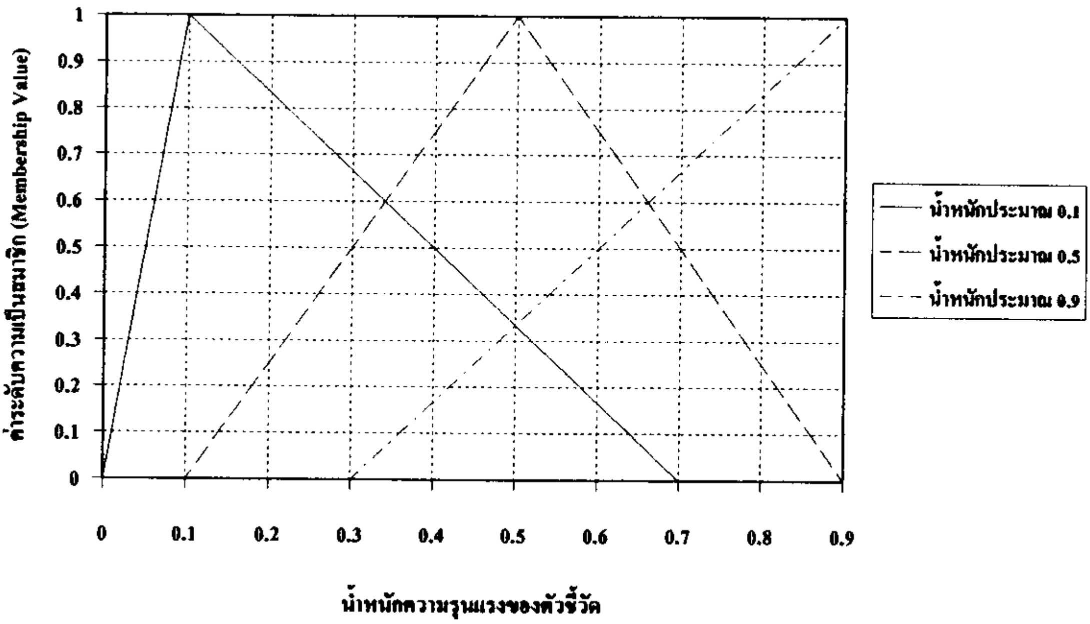
$$
\begin{aligned}
B(\cdot)A_\alpha &= [Ba_1^{(\alpha)}, Ba_2^{(\alpha)}] \\
&= [3(4\alpha+1)/10, 3(-4\alpha+9)/10]
\end{aligned}
$$



ภาพประกอบ 4.9 จำนวนฟัซซีระดับความรุนแรง (อัตราการบาดเจ็บ ต่อปริมาณการเดินทาง ร้อยล้านคัน-กิโลเมตร)



ภาพประกอบ 4.10 จำนวนฟัซซีระดับความรุนแรง (อัตราการเสียชีวิต ต่อปริมาณการเดินทาง ร้อยล้านคัน-กิโลเมตร)



ภาพประกอบ 4.11 จำนวนฟัซซีแทนน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัด

ตาราง 4.1 น้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด	น้ำหนัก (weight)
อัตราการเกิดอุบัติเหตุ ต่อประชากรแสนคน	1
อัตราการบาดเจ็บ ต่อประชากรแสนคน	1
อัตราการเสียชีวิต ต่อประชากรแสนคน	2
อัตราการเกิดอุบัติเหตุ ต่อร้อยล้านคัน - กม.	1
อัตราการบาดเจ็บ ต่อร้อยล้านคัน - กม.	2
อัตราการเสียชีวิต ต่อ ร้อยล้านคัน - กม.	3

การกำหนดเงื่อนไขเช่นนี้ คล้ายคลึงกับการแบ่งช่วงของข้อมูล ดังที่นำเสนอในบทที่ 3 ที่ได้กำหนดว่า เช่น *ถ้า* ค่าตัวชี้วัดตกอยู่ในช่วง ศูนย์ ถึง ผลต่างของค่าเฉลี่ยกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวชี้วัด *เมื่อนั้น* กำหนดน้ำหนักความรุนแรงให้เป็น 0.1 เป็นต้น แต่เมื่อประยุกต์ฟัซซีเซตช่วงของข้อมูลจะแทนด้วยระดับความรุนแรง แล้วแปลงเป็นน้ำหนักความรุนแรงตามเงื่อนไขที่กล่าวมาข้างต้น

4.4.3 ตัวอย่างการคูณของจำนวนฟัซซี (Multiplication of Fuzzy Numbers)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership functions) ของน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดแต่ละตัวจะแทนด้วยจำนวนฟัซซี (ภาพประกอบ 4.11) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การคำนวณดัชนีความปลอดภัยในการศึกษานี้จะใช้สมการ (4.8) ซึ่งจะประกอบด้วยผลรวมของผลคูณน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัดกับค่าคงที่ (น้ำหนักความสำคัญตัวชี้วัด) โดยอาศัยสมการ (4.4) และสมการ (4.6) ดังตัวอย่างการคูณกันดังนี้:

ตัวอย่าง กำหนดให้ A เป็นจำนวนฟัซซีซึ่งแทนด้วยน้ำหนักความรุนแรง "*ประมาณ 0.5*" และ B แทนน้ำหนักความสำคัญของ ตัวชี้วัดอัตราการเสียชีวิตต่อปริมาณการเดินทางร้อยล้านคัน-กิโลเมตร ของเขตเลือกตั้งที่ 8 ในปี พ.ศ. 2540 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแทนด้วยคณิตศาสตร์ ดังนี้ :

$$
\begin{aligned}
\mu_A(x) &= 0 && x \le 0.1 \\
&= (10x-1)/4 && 0.1 \le x \le 0.5 \\
&= (-10x+9)/4 && 0.5 \le x \le 0.9 \\
&= 0 && x \ge 0.9
\end{aligned}
\tag{4.12}
$$

แทน $\mu_A(x)$ ด้วย α-level จากสมการ (4.2) จะได้ว่า

$$
\alpha = \frac{10a_1^{(\alpha)}}{4} - \frac{1}{4} \quad \text{และ} \quad \alpha = -\frac{10a_2^{(\alpha)}}{4} + \frac{9}{4} \tag{4.13}
$$

ดังนั้น

$$
A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] = [(4\alpha+1)/10, (-4\alpha+9)/10] \tag{4.14}
$$

เนื่องจากค่า B เป็นค่าคงที่ (น้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัด ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 3)

$$
B = K(=3) \tag{4.15}
$$

จากสมการ (4.3) การคูณกันของ A_α และ B (ค่าคงที่) เขียนในรูปสมการคือ

$$
\begin{aligned}
B(\cdot)A_\alpha &= [Ba_1^{(\alpha)}, Ba_2^{(\alpha)}] \\
&= [3(4\alpha+1)/10, 3(-4\alpha+9)/10]
\end{aligned}
$$

$$= \quad [(12\alpha+3)/10\,,\ (-12\alpha+27)/10] \tag{4.16}$$

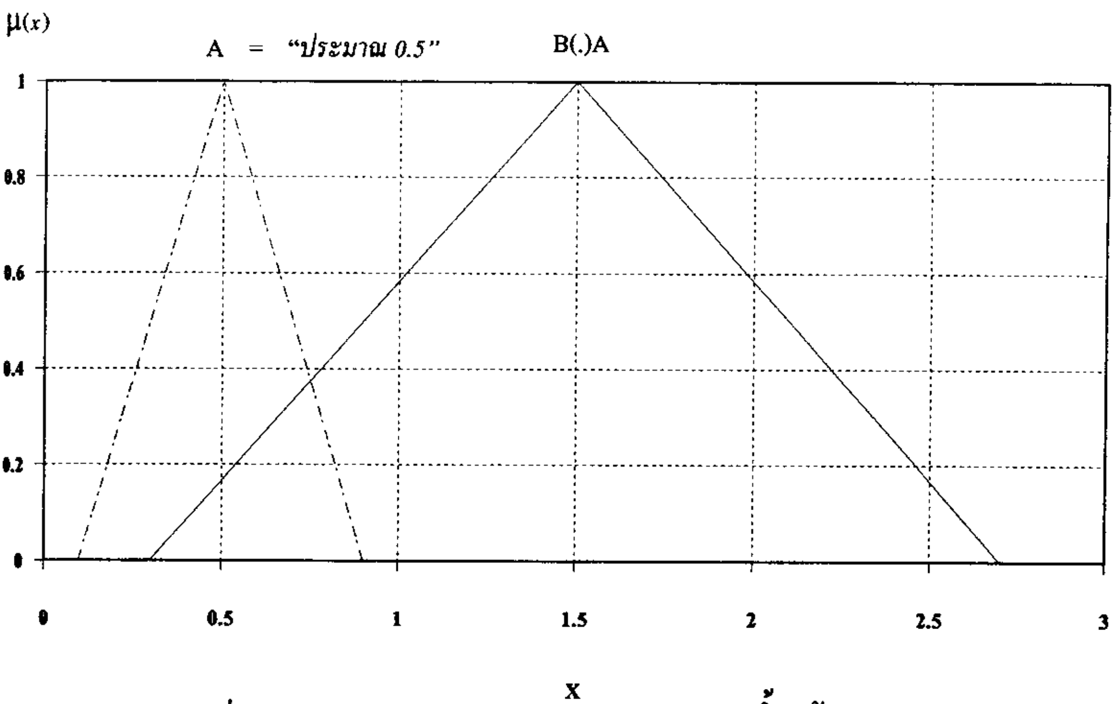
สมการผลคูณของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) A และ ค่าคงที่ B คือ

$$6\alpha/5+3/10-x = 0 \quad \text{และ} \quad -6\alpha/5+27/10-x = 0 \tag{4.17}$$

แก้สมการ (4.17) เพื่อหาค่า α - level จะได้ว่า

$$\alpha = (10x-3)/12 \quad \text{และ} \quad \alpha = -5x/6+9/4 \tag{4.18}$$

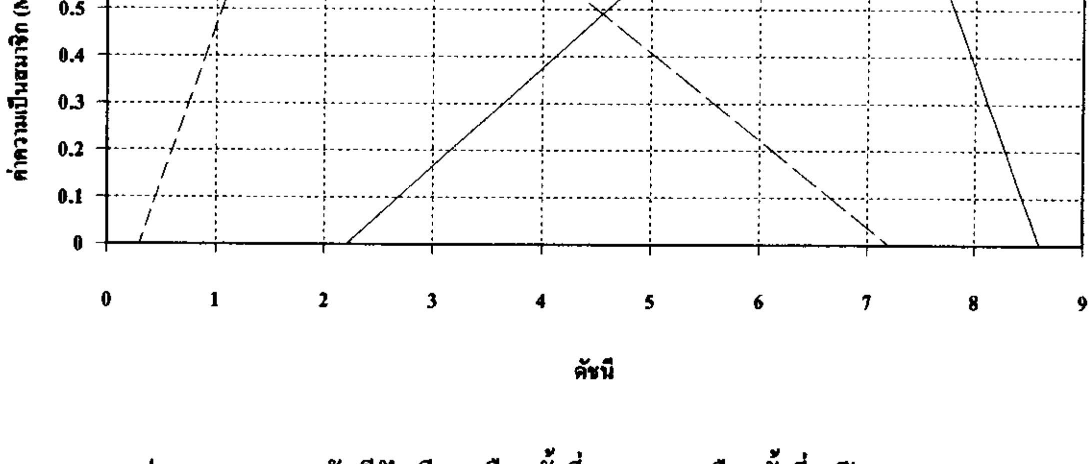
$$\begin{aligned}
\mu_{B.A}(x) &= 0 && x \le 0.3 \\
&= (10x-3)/12 && 0.3 \le x \le 1.5 \\
&= -5x/6+9/4 && 1.5 \le x \le 2.7 \\
&= 0 && x \ge 2.7
\end{aligned} \tag{4.19}$$



ประกอบ 4.12 การคูณของ Fuzzy Number A (น้ำหนักความรุนแรง)
และ ค่าคงที่ B (ตัวถ่วงความสำคัญของตัวชี้วัด)

4.5 ดัชนีฟัซซี (Fuzzy Index Number)

การประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซตในการคำนวณดัชนีดังตัวอย่างการนำเสนอที่ผ่านมา ค่าตัวชี้วัดจะแทนในรูปฟังก์ชันความเป็นสมาชิกซึ่งในการศึกษานี้จะกำหนดไว้ 2 ส่วนคือ ส่วนแรก แทนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้วยระดับความรุนแรงของค่าตัวชี้วัด (ภาพประกอบ 4.5 - 4.10) และส่วนที่สอง แทนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้วยน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัด (ภาพประกอบ 4.11) แนวทางในการพิจารณาได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 และหัวข้อที่ 4.4.2 และเมื่อแทนความสัมพันธ์โดยใช้สมการ (4.4) และสมการ (4.6) ผลลัพธ์จะพิจารณาได้จากภาพประกอบ 4.13 ซึ่งเป็นตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีของเขต 1 และเขต 2 ในปี พ.ศ. 2540 เมื่อใช้แนวคิด α-Level อาจพิจารณาช่วงของค่าดัชนีได้ดังตัวอย่างเช่น ที่ α-Level (ค่าความเป็นสมาชิก) เท่ากับ 0.8 เขตเลือกตั้งที่ 1 มีค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 6.1 ถึง 7.3 และเขตเลือกตั้งที่ 2 มีค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2.9 การประยุกต์ในทางปฏิบัติอาจพิจารณาดังนี้คือ หากเรามีความมั่นใจในความถูกต้องของข้อมูลสูงมาก อาจกำหนดค่า α-Level (เท่ากับ 1) เป็นคำตอบของดัชนี แต่หากมีความมั่นใจน้อย α-Level ก็จะกำหนดให้มีค่าในระดับที่ต่ำลงไปด้วย กรณีเช่นนี้ทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นช่วงของค่าดัชนีซึ่งจะไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ระหว่างเขตเลือกตั้ง ดังนั้นการแปลงกลับ (defuzzification) จึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะทำให้ได้ดัชนีค่าเดียวที่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



ประกอบ 4.13 ดัชนีฟัซซีเขตเลือกตั้งที่ 1 และเขตเลือกตั้งที่ 2 ปี พ.ศ. 2540

4.6 การจัดลำดับจำนวนฟัซซี (Ranking of Fuzzy Numbers)

การจัดการกับจำนวนฟัซซีโดยใช้เลขคณิตฟัซซีเพื่อคำนวณค่าดัชนีดังตัวอย่างที่ได้นำเสนอในก่อนหน้านี้ ผลลัพธ์ของดัชนีที่คำนวณได้จะยังคงอยู่ในรูปของจำนวนฟัซซี (fuzzy number) ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำการแปลงจำนวนฟัซซีนี้ให้อยู่ในรูปของดัชนีค่าเดียว ที่สามารถนำมาเปรียบเทียบผลลัพธ์และจัดลำดับได้ การดำเนินการเช่นนี้เรียกว่า การจัดลำดับจำนวนฟัซซี หรือการแปลงกลับฟัซซี (defuzzification)

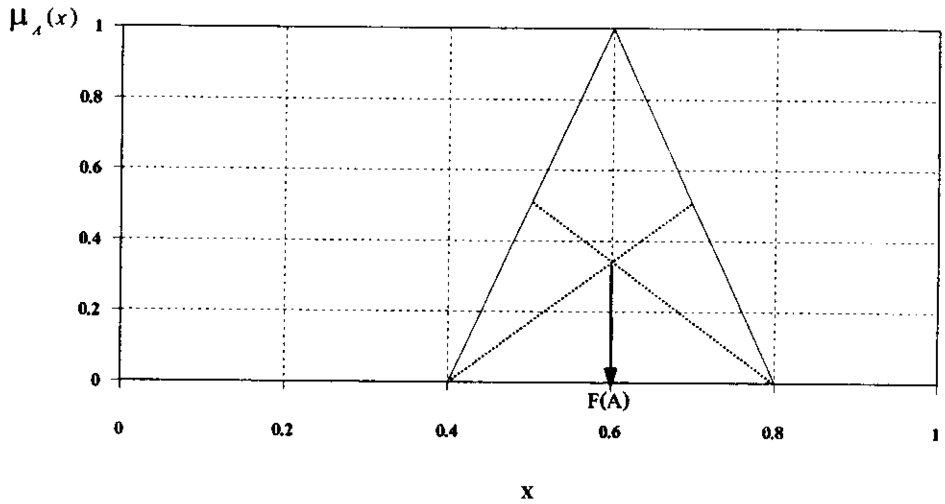
การแปลงกลับฟัซซี ปัจจุบันมีการนำเสนอวิธีการต่าง ๆ ในหลายแบบ พร้อมทั้งมีการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี แต่ละวิธีนั้นจะมีความเหมาะสมที่แตกต่างกันไปตามแบบจำลองของการประยุกต์และการตีความ ดังเช่นในการประยุกต์ฟัซซีลอจิกกับงานด้านวิศวกรรมอิเลคทรอนิคและควบคุม ก็มีส่วนของการแปลงกลับเอาต์พุตเช่นกันซึ่งพบว่า มักมีกำหนดวิธีการแปลงกลับที่นิยมกัน 3 วิธี คือ วิธีค่ามากที่สุด วิธีเฉลี่ยค่ามากที่สุด และวิธีจุดศูนย์ถ่วง ในแต่ละวิธีก็มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป การศึกษานี้ผู้ศึกษาจะใช้แบบจำลองการแปลงกลับที่เสนอโดย ยาร์เกอร์ (Yager, R.R., 1981) ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยการหาจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ (Center of area : COA) ซึ่งวิธีนี้จัดเป็นวิธีการที่มีเหมาะสมสำหรับการศึกษาปัญหาเริ่มต้น (Prechaverakul, S. 1995. อ้างถึงใน Yager, R.R., 1981) การแปลงกลับฟัซซีสามารถเขียนในรูปสมการ ดังนี้คือ:

$$F(A) = \frac{\int_0^1 g(x)\mu_A(x)dx}{\int_0^1 \mu_A(x)dx} \tag{4.20}$$

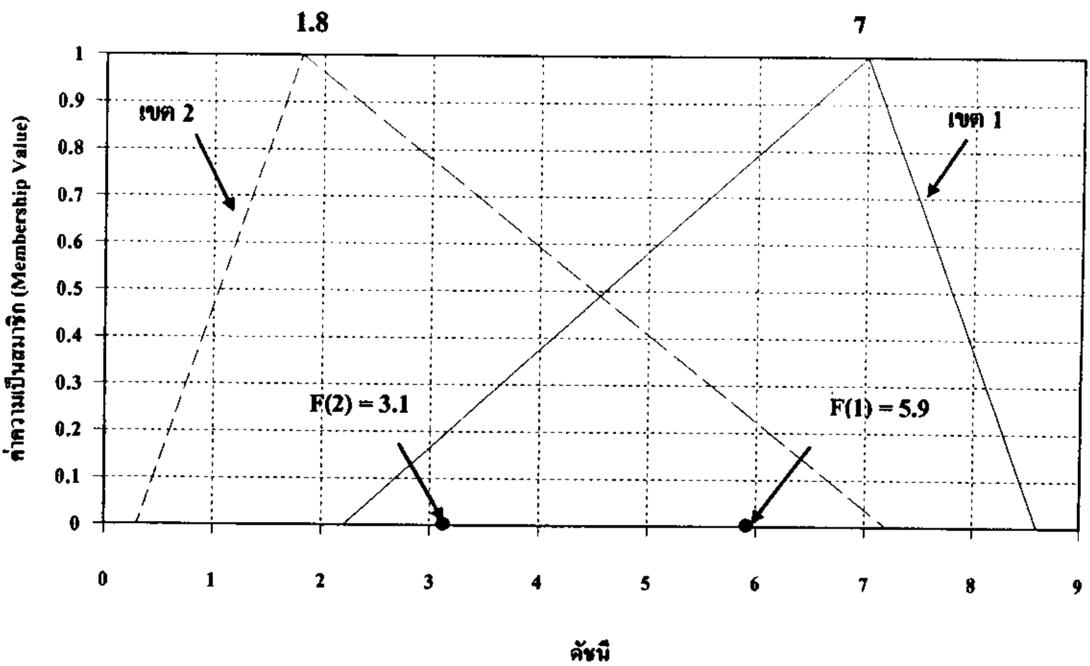
เมื่อ $g(x)$ เป็นฟังก์ชันน้ำหนักที่ใช้วัดความสำคัญของ x, $F(A)$ เป็นดัชนีลำดับ (ranking index) (ตัวอย่าง ภาพประกอบ 4.14)

ภาพประกอบ 4.15 แสดงดัชนีฟัซซีของ 2 เขตเลือกตั้ง คือเขตเลือกตั้งที่ 1 และเขตเลือกตั้งที่ 2 ของปี พ.ศ. 2540 โดยมีค่าสูงสุด (ค่าความเป็นสมาชิกเท่ากับ 1) มีค่าเท่ากับ 7 และ 1.8 ตามลำดับ การเปรียบเทียบค่าดัชนีโดยการจัดลำดับจำนวนฟัซซีนี้ ค่าดัชนีเขตการเลือกตั้งที่ 1 และ เขตการเลือกตั้งที่ 2 แทนด้วย F(1) และ F(2) มีค่าเท่ากับ 5.9 และ 3.1 ตามลำดับ สูตรการอินทิเกรตสมการ (4.20) ขีดจำกัดบนจะเปลี่ยนไปจนถึง 9

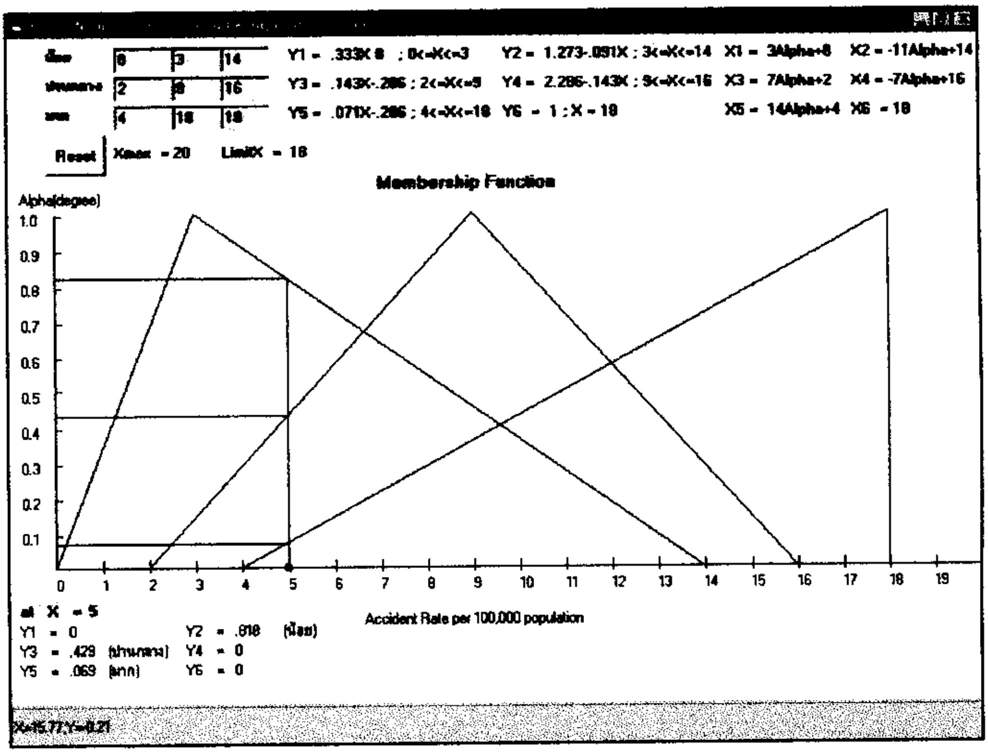
ภาพประกอบ 4.16 - 4.19 เป็นโปรแกรมที่ผู้ศึกษาพัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม Visual Basic โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมุ่งเน้นเพื่อการประมวลผลเป็นสำคัญ



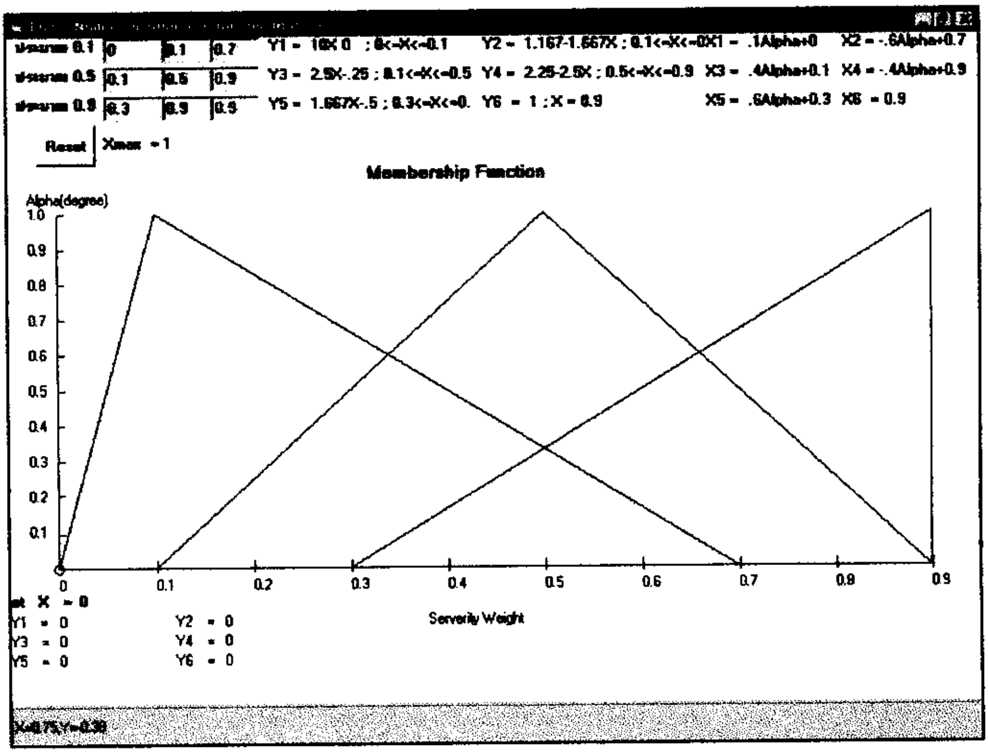
ประกอบ 4.14 ดัชนียาร์เกอร์ (Yager Index)



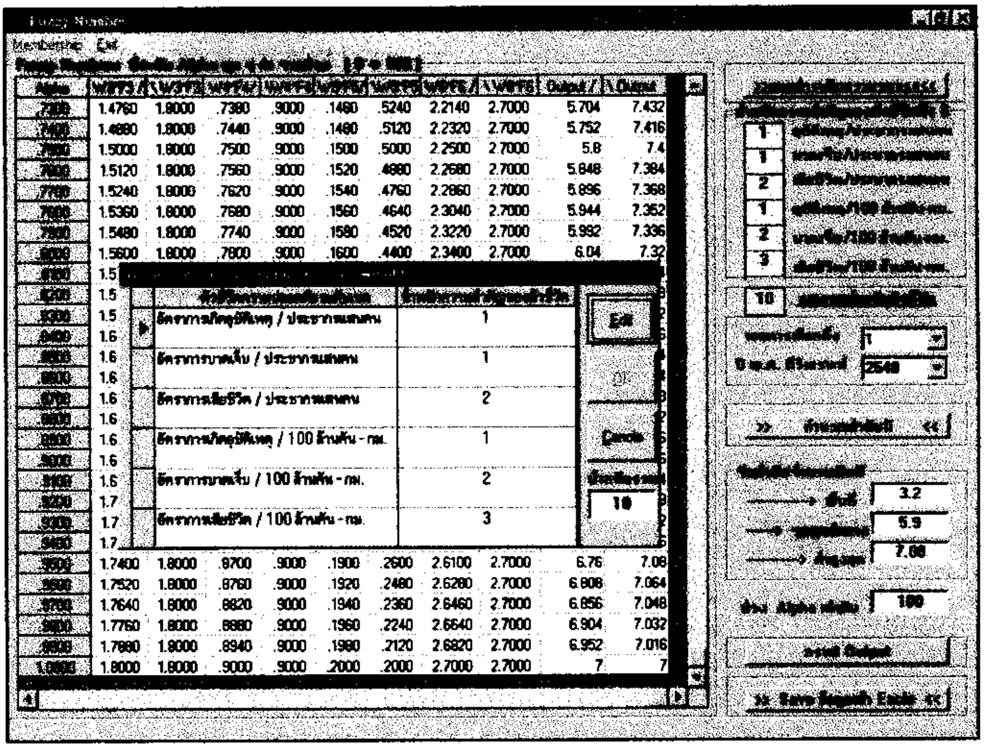
ประกอบ 4.15 การจัดลำดับจำนวนฟัซซี



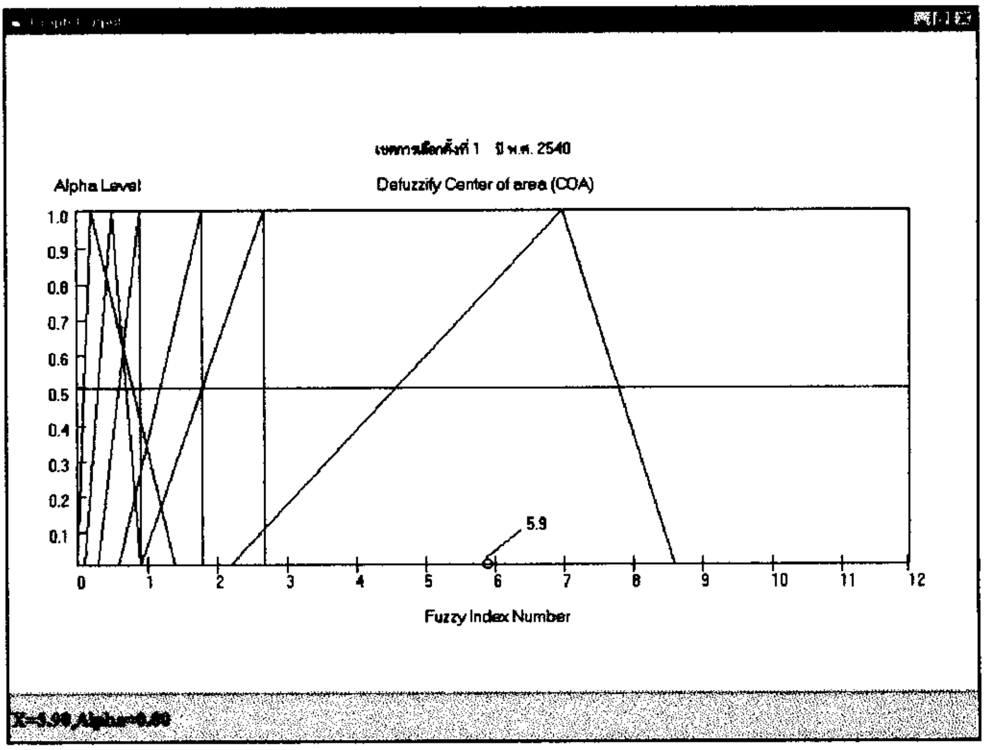
ประกอบ 4.16 ตัวอย่างการกำหนดจำนวนฟัซซีระดับความรุนแรง



ประกอบ 4.17 การกำหนดน้ำหนักความรุนแรงของตัวชี้วัด



ประกอบ 4.18 การประมวลผลค่าดัชนี



ประกอบ 4.19 การจัดลำดับจำนวนฟัซซี

4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ดัชนีด้วยการประยุกต์ฟัซซีเซต

ผลการวิเคราะห์ดัชนีความปลอดภัยสรุปได้ดังนี้:

ตาราง 4.2 ดัชนีและลำดับความปลอดภัยระดับเขตการเลือกตั้ง จากการประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซต

เขต	ปี พ.ศ. 2540		ปี พ.ศ. 2541		ปี พ.ศ. 2542		ปี พ.ศ. 2543		ปี พ.ศ. 2544	
เลือกตั้ง	FUZZY	ลำดับ	FUZZY	ลำดับ	FUZZY	ลำดับ	FUZZY	ลำดับ	FUZZY	ลำดับ
เขต 1	5.9	1	4.4	1	4.9	1	3.3	6	3.1	3
เขต 2	3.1	7	3.4	5	3.6	4	3.6	4	2.9	6
เขต 3	3.8	5	4.2	3	3.6	4	3.6	4	3.3	5
เขต 4	3.6	6	3.1	7	2.7	7	4.4	2	3.4	2
เขต 5	4.2	3	3.4	5	4.4	2	4.8	1	4.4	1
เขต 6	4.2	3	3.1	7	2.9	6	3.3	6	2.9	6
เขต 7	3.1	7	4.0	4	2.7	7	2.7	8	2.7	8
เขต 8	5.3	2	4.4	1	4.2	3	4.2	3	3.1	3

4.8 บทสรุป

การคำนวณดัชนีความปลอดภัยบนท้องถนนระดับเขตการเลือกตั้ง ดังที่นำเสนอในบทนี้เป็นแนวทางหนึ่งของความพยายามที่จะนำแนวคิดทฤษฎีฟัซซีเซตมาประยุกต์ใช้ โดยพิจารณาจากค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ที่คำนวณได้ ค่าตัวชี้วัดจะกำหนดให้อยู่ในรูปของจำนวนฟัซซีซึ่งแทนด้วยช่วงระดับความรุนแรง 3 ระดับ คือ น้อย, ปานกลาง และมาก ระดับความรุนแรงที่พิจารณาจากค่าตัวชี้วัดนี้ จะแปลงเป็นน้ำหนักความรุนแรงอีกครั้งหนึ่งโดยพิจารณาจากเงื่อนไขที่กำหนด จำนวนฟัซซีน้ำหนักความรุนแรงกำหนดในเชิงปริมาณ คือ *"ประมาณ 0.1"*, *"ประมาณ 0.5"* และ *"ประมาณ 0.9"* การคูณและการบวกกันของจำนวนฟัซซีน้ำหนักความรุนแรง และน้ำหนักความสำคัญของตัวชี้วัดแทนด้วยเลขคณิตฟัซซี (fuzzy arithmetics) เป็นตัวดำเนินการสำหรับหาผลลัพธ์ ผลที่ได้จะทำให้ค่าดัชนีอยู่ในรูปของฟังก์ชันซึ่งหลังจากทำการแปลงกลับ (defuzzification) แล้วจะทำให้ได้ค่าดัชนีค่าเดียวในแต่ละเขตสำหรับนำมาเปรียบเทียบและจัดลำดับ

การประยุกต์ทฤษฎีฟัซซีเซตดังที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นหนึ่งในหลาย ๆ วิธีที่สามารถจะดำเนินการได้ และถือเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการแก้ปัญหาในกรณีที่มีความเชื่อมั่นของข้อมูลน้อย อย่างไรก็ตาม การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกยังคงต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต