

การจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี:
แนวความคิดและการประยุกต์

PRIORITIZED FACTORS USING FUZZY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS:
UNDERSTANDING CONCEPTS AND ITS APPLICATION

ดร.ปราโมทย์ ลือนาม

อาจารย์ประจำคณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

บทคัดย่อ

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อช่วยในการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ด้วยความสามารถที่ประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาลักษณะต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซีจำลองวิธีการคิดแบบมนุษย์ที่ใช้วิธีการประมาณค่าข้อมูลภายใต้ความไม่แน่นอนในการตัดสินใจเพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสม บทความนี้อธิบายแนวคิดของ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซีและกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง แสดงขั้นตอนของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี รวมทั้งแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ในการจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัย

คำสำคัญ: กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

ABSTRACT

The Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) has been widely used for multiple criteria decision making and has been successfully applied to many practical decision-making problems. FAHP reflects human thinking as it uses approximate information and uncertainty to generate decisions. This article introduces the concept of FAHP, fundamental theories, computational procedure of FAHP, and an application of the FAPH for prioritizing the model of the determinants of perceived ease of use.

Keywords: Fuzzy Analytic Hierarchy Process, Multiple criteria decision making

บทนำ

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP) เป็นเครื่องมือช่วยการตัดสินใจที่มีความสามารถในการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple Criteria Decision Making: MCDM) (Wu, Tzeng, & Chen, 2009) ซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวสามารถเป็นได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ FAHP มีแนวความคิดพื้นฐานมาจากกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) ที่พัฒนาโดย Thomas L. Saaty (1980) FAHP ประยุกต์แนวคิดของทฤษฎีเซตคลุมเครือ (fuzzy set theory) เข้ากับการจับคู่เปรียบเทียบปัจจัย (pairwise comparison) แทนการใช้ค่าทวินัย (crisp value) ที่ใช้

ตัวเลขเปรียบเทียบในวิธี AHP ทำให้ FAHP มีความสามารถในการตัดสินใจภายใต้ความไม่ชัดเจน (vagueness) และความไม่แน่นอน (uncertainty) ของปัจจัยได้คล้ายคลึงกับกระบวนการคิดของมนุษย์ ช่วยให้การตัดสินใจมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Chen, Lien, Tzeng, & Yang, 2011) FAHP ถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย และมักพบในสองรูปแบบหลัก คือ (1) การจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัย และ (2) การหาทางเลือกโดยการเปรียบเทียบเกณฑ์ปัจจัยหลายด้านและหลายระดับ ตัวอย่างของการประยุกต์ เช่น การศึกษาของ Kwong & Bai (2002) ใช้ FAHP จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ลูกค้าใช้พิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ตามเทคนิคการแปรหน้าที่เชิงคุณภาพ (quality function deployment)

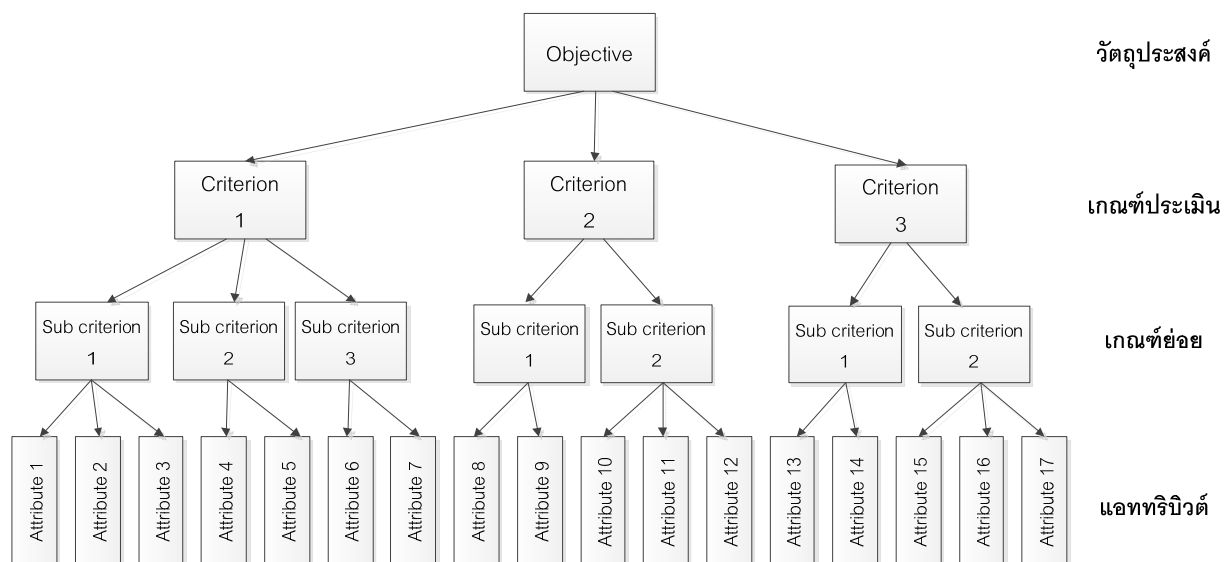
Yadav และคณะ (2012) ใช้ FAHP จัดลำดับคุณลักษณะด้านความงาม (aesthetic attribute) ที่ถูกคำปรารภรณานำมาใช้สำหรับการออกแบบรถยนต์ Cheng และคณะ (2008) ใช้ FAHP ในการเปรียบเทียบและคัดเลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่ดีที่สุดในการทำนายเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาวัสดุใหม่ (materials development) เป็นต้น

แนวคิด และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

FAHP ใช้โครงสร้างแบบลำดับชั้นในการแสดงโครงสร้างของทางเลือกและเกณฑ์ประเมินในลักษณะของลำดับชั้น (Vaidya & Kumar, 2006) ชั้นบนสุดของโครงสร้างเรียกว่าวัตถุประสงค์ (objective) หรือบางทีเรียกว่า (goal) ชั้นถัดลงมาคือ เกณฑ์ประเมิน (evaluation criteria) ที่ใช้สำหรับพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามวัตถุประสงค์ แต่ละเกณฑ์ประเมินอาจประกอบด้วยเกณฑ์ย่อย (sub criterion) ที่อยู่ในลำดับชั้นถัดลงมา ในแต่ละเกณฑ์ประเมินไม่จำเป็นต้องมีจำนวนเกณฑ์ย่อยเท่ากัน เกณฑ์ที่จัดอยู่ในลำดับชั้นเดียวกันควรมีความสำคัญเท่าเทียมกัน และจัดให้เกณฑ์ที่มีความสำคัญน้อยกว่าจะอยู่ลำดับชั้นถัดลงไป ในชั้นล่างสุดเป็นค่า

ลักษณะประจำ หรือ แอททริบิวต์ (attribute) ของแต่ละเกณฑ์ ตัวอย่างของโครงสร้างลำดับชั้นของ FAHP แสดงในภาพที่ 1

การจัดลำดับความสำคัญ (prioritization) ของเกณฑ์ปัจจัย เช่น คุณภาพ ความชอบ ความสำคัญ สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าของเกณฑ์ที่ละคู่ในแต่ละลำดับชั้นโครงสร้าง ในการเปรียบเทียบเกณฑ์ปัจจัยสำหรับ FAHP อาจจะทำโดยกำหนดระดับของความสำคัญของแต่ละเกณฑ์เป็นตัวเลขแบบฟัซซีนัมเบอร์ (fuzzy number) หากแบ่งเป็น 9 ระดับก็อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 1 ถึง 9 ในการเปรียบเทียบคู่ปัจจัยจะอาศัยการสร้างอัตราส่วนเชิงปริมาณเพื่อช่วยให้การเปรียบเทียบชัดเจนขึ้น เช่น หากกำหนดให้ปัจจัย A มีคุณภาพที่ระดับ 1 ปัจจัย B มีคุณภาพที่ระดับ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับ A จะดีกว่า B ในอัตราส่วนเท่ากับ 3 หากเปรียบเทียบในทางกลับกันอัตราส่วนนี้ก็ต้องสอดคล้องกับค่าเดิมด้วย กล่าวคือ เมื่อนำปัจจัย B มาเปรียบเทียบกับปัจจัย A จะมีคุณภาพที่ดีกว่าเท่ากับ 3^{-1} หรือ $\frac{1}{3}$



ภาพที่ 1 โครงสร้างลำดับชั้นของ FAHP

สำหรับฟังก์ชันนัมเบอร์ ที่เป็นสมาชิกของฟังก์ชันเซต F สามารถแสดงในรูปของสมการ ได้ดังนี้

$$F = \{(x, \mu_F(x)), x \in R\} \dots \dots \dots (1)$$

โดยที่ x เป็นจำนวนจริงใด ๆ และมีค่าอยู่ระหว่าง $-\infty < x < +\infty$, R คือ เอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนจริง $\mu_F(x)$ คือ ฟังก์ชันภาวะสมาชิก $\mu_F(x)$ ที่มีดีกรีของความเป็นสมาชิก (degree of membership) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (เขียนเป็นสัญลักษณ์ว่า $[0, 1]$) โดยที่ ดีกรี 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต และ 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต ส่วนค่าที่อยู่ระหว่าง 0 กับ 1 (ไม่รวม 0 และ 1) หมายถึง มีระดับความเป็นสมาชิกเป็นบางส่วนในเซต

ความหมายของแต่ละค่าของตัวเลขแบบฟังก์ชันนัมเบอร์สามารถกำหนดความหมายได้ในลักษณะต่างๆ เช่น เท่ากัน ปานกลาง ค่อนข้างมาก มากกว่า มากที่สุด

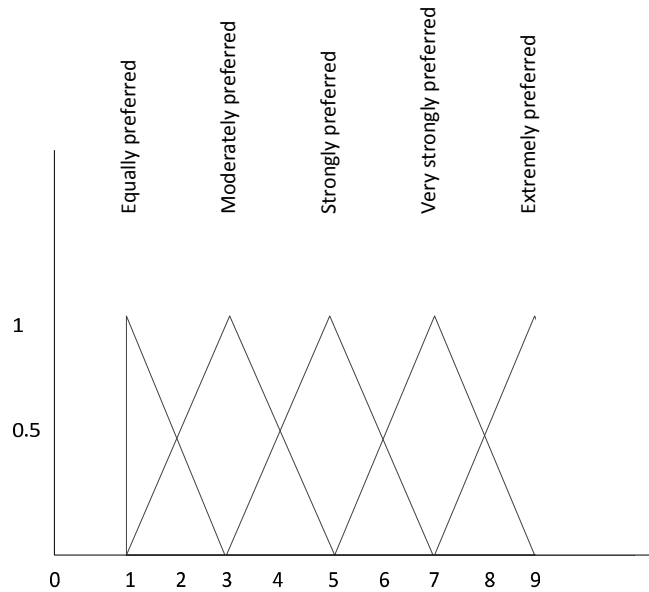
เป็นต้น สำหรับตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างการกำหนดความหมายของฟังก์ชันนัมเบอร์ที่แบ่งเป็น 9 ระดับ

ข้อมูลเชิงคุณภาพ ในส่วนที่เป็นความรู้สึก ความชอบ หรือประสบการณ์ ซึ่งไม่ได้อยู่ในรูปของตัวเลข การวัดค่าของข้อมูลประเภทนี้ทำได้โดยประเมินค่าตามความรู้สึกของผู้วัดซึ่งเป็นลักษณะอัตวิสัย (subjective) แล้วกำหนดเป็นระดับของการเปรียบเทียบ หลังจากนั้นจะต้องกำหนดรูปแบบการกระจายตัวของฟังก์ชันภาวะสมาชิก (membership function) ที่สามารถกำหนดได้หลายลักษณะ (Mandal, Choudhury, De, & Chaudhuri, 2008) เช่น ฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function) ฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบระฆังคว่ำ (bell-shaped membership function) และ ฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบเกาส์เซียน (gaussian membership functions) เป็นต้น ในภาพที่ 2 แสดงการกำหนดฟังก์ชันนัมเบอร์ 1, 3, 5, 7 และ 9 ให้กับระดับของความชอบที่มีฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการกำหนดความหมายของฟังก์ชันนัมเบอร์

ฟังก์ชันนัมเบอร์	ความหมาย
1	เท่ากัน (equally preferred)
2	เท่ากันถึงปานกลาง (equally to moderately preferred)
3	ปานกลาง (moderately preferred)
4	ปานกลางถึงค่อนข้างมาก (moderately to strongly preferred)
5	ค่อนข้างมาก (strongly preferred)
6	ค่อนข้างมากถึงมากกว่า (strongly to very strongly preferred)
7	มากกว่า (very strongly preferred)
8	มากกว่าถึงมากที่สุด (very to extremely strongly preferred)
9	มากที่สุด (extremely preferred)

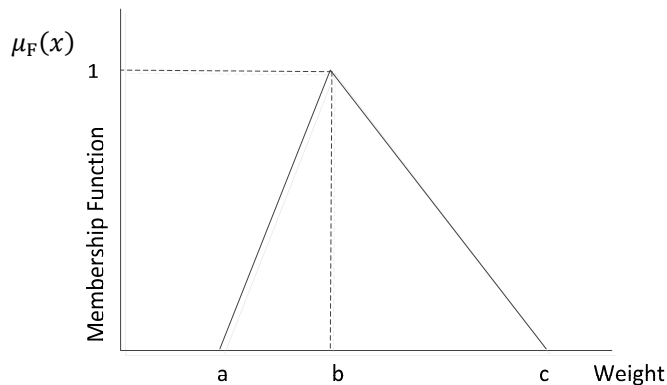
ที่มา: Kabir & Hasin (2011)



ภาพที่ 2 การกำหนดฟังก์ชันเมมเบอร์ให้กับระดับของความชอบที่มีฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

สำหรับฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบสามเหลี่ยมของฟังก์ชันเมมเบอร์ $\mu_F(x)$ สามารถแสดงในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$



ภาพที่ 3 ฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบสามเหลี่ยม และพารามิเตอร์

เลขฟังก์ชันเมมเบอร์แบบสามเหลี่ยม (triangular fuzzy number) $\tilde{y}$ ใด ๆ สามารถเขียนในรูปของพารามิเตอร์ a b และ c ดังนี้

$$\tilde{y} = (a, b, c)_T \dots\dots\dots (2)$$

โดยที่ a เป็นค่าลิมิตล่าง (lower limit) c เป็นค่าลิมิตบน (upper limit) และ b คือ ฐานนิยม (mode) และ $a < b < c$ ส่วนดัชนีล่าง T เป็นคำย่อของ Triangular กำกับไว้เพื่อให้ทราบว่า เป็นฟังก์ชันเมมเบอร์รูปแบบสามเหลี่ยม ทั้งนี้แสดงค่าเหล่านี้ได้ดังภาพที่ 3

ขั้นตอนของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี

การลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซีสามารถแบ่งกระบวนการทำงานออกเป็น 5 ขั้นตอนย่อย (Kwong & Bai, 2002) ดังนี้

ขั้นตอน 1 เปรียบเทียบค่าของเกณฑ์ที่ละคู่ในแต่ละลำดับชั้น โดยใช้ฟัซซีนิมเบอร์ (1, 3, 5, 7, 9, ...) ในการให้คะแนนเปรียบเทียบ

ขั้นตอน 2 สร้างเมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซี (Fuzzy Comparison Matrix: FCM) เราสามารถแสดงเมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซี $\tilde{A}(a_{ij})$ ที่ใช้ฟัซซีนิมเบอร์แบบสามเหลี่ยม ได้ดังนี้

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{a}_{12} & \tilde{a}_{13} & \dots & \tilde{a}_{1(n-1)} & \tilde{a}_{1n} \\ \tilde{a}_{21} & 1 & \tilde{a}_{23} & \dots & \tilde{a}_{2(n-1)} & \tilde{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \tilde{a}_{(n-1)1} & \tilde{a}_{(n-1)2} & \tilde{a}_{(n-1)3} & \dots & 1 & \tilde{a}_{(n-1)n} \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \tilde{a}_{n3} & \dots & \tilde{a}_{n(n-1)} & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4)$$

โดยที่

$$\tilde{a}_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 1, 3, 5, 7, 9, \text{ หรือ } 1^{-1}, 3^{-1}, 5^{-1}, 7^{-1}, 9^{-1}, & i \neq j \end{cases}$$

ขั้นตอน 3 คำนวณค่าไอเกน (eigenvalue) จากบทนิยามที่ว่า หาก $\tilde{A}$ เป็นเมทริกซ์ใด ๆ จะมีเวกเตอร์ $\tilde{X}$ ที่จะทำให้

$$\tilde{A} \tilde{X} = \tilde{\lambda} \tilde{X} \dots\dots\dots (5)$$

โดย $\tilde{A}$ คือเมทริกซ์ขนาดมิติ $n \times n$ ที่มีสมาชิกประกอบด้วยฟัซซีนิมเบอร์ $\tilde{a}_{ij}$ และ $\tilde{X}$ เป็นเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ หรือไอเกนเวกเตอร์ (eigenvector) แบบไม่เป็นเวกเตอร์ศูนย์ (non-zero vector) $\tilde{X}$ มีขนาดมิติ $1 \times n$ มีสมาชิกประกอบด้วยฟัซซีนิมเบอร์ $\tilde{x}_i$ และ $\tilde{\lambda}$ คือฟัซซีนิมเบอร์ที่มีค่าเป็นสเกลาร์ และเป็นผลเฉลย (solution) ของสมการจากการใช้คณิตศาสตร์แบบช่วง (interval arithmetic) และ α -cut ในการคูณและบวกแบบฟัซซี สมการ (5) เทียบเท่ากับ

$$[a_{i1}^\alpha x_{i1}^\alpha, a_{i1u}^\alpha x_{i1u}^\alpha] \oplus \dots \oplus [a_{inl}^\alpha x_{inl}^\alpha, a_{inu}^\alpha x_{inu}^\alpha] = [\lambda x_{il}^\alpha, \lambda x_{iu}^\alpha] \dots\dots\dots (6)$$

โดยที่

$$\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}], \tilde{X}^t = (\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n), \\ \tilde{a}_{ij}^\alpha = [a_{ijl}^\alpha, a_{iju}^\alpha], \tilde{x}_i^\alpha = [x_{il}^\alpha, x_{iu}^\alpha], \tilde{\lambda}^\alpha = [\lambda_l^\alpha, \lambda_u^\alpha]$$

สำหรับ $0 < \alpha \leq 1$ และทุก i, j โดย $i = 1, 2, \dots, n$ และ $j = 1, 2, \dots, n$

สำหรับเมทริกซ์การตัดสินใจ (judgment matrix) $\tilde{A}$ จะนำมาประเมินระดับความพึงพอใจ (degree of satisfaction) โดยใช้ดัชนีสุขนิยม (index of optimism) μ ค่าของ μ ยิ่งสูงหมายถึงยิ่งมีความความพึงพอใจสูง ดัชนีสุขนิยมเป็นผลรวมคอนเวกซ์แบบเชิงเส้น (linear convex combination) สามารถกำหนดได้จาก (Lee, 1999)

$$\hat{a}_{ij}^\alpha = \mu a_{iju}^\alpha + (1 - \mu) a_{ijl}^\alpha, \quad \forall \mu \in [0, 1] \dots\dots\dots (7)$$

เมื่อ กำหนดค่า α ใดค่าที่ เมทริกซ์ต่อไปนี้สามารถหาได้โดยการกำหนดค่าดัชนีสุขนิยม μ เพื่อประเมินค่าความพึงพอใจ

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \hat{a}_{12}^\alpha & \dots & \hat{a}_{1n}^\alpha \\ \hat{a}_{21}^\alpha & 1 & \dots & \hat{a}_{2n}^\alpha \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{a}_{n1}^\alpha & \hat{a}_{n2}^\alpha & \dots & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

การหาค่าไอเกนเวกเตอร์ทำได้โดยกำหนด μ ให้เป็นค่าคงที่แล้วคำนวณหาค่าสูงสุดของค่าไอเกน

ขั้นตอน 4 ตรวจสอบค่าอัตราส่วนความต้งกัน (consistency ratio: CR) ของแต่ละเมทริกซ์เทียบเคียงพัชชี โดยสามารถประมาณค่า CR จากสมการ

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots (9)$$

โดย CI คือดัชนีความต้งกัน (consistency index) สามารถคำนวณ CI ได้จากสมการ

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots (10)$$

โดย λ_{max} คือ λ ที่มีค่าสูงที่สุดที่ได้จากผลเฉลย ของสมการ (5) และ n คือขนาดมิติของเมทริกซ์ ส่วน RI (random index) คือค่านำหนักที่สร้างโดยการสุ่ม สามารถประมาณ RI ได้จากตารางที่ 2 ตามขนาดมิติ (n) ของเมทริกซ์เทียบเคียงพัชชี

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยดัชนีสำหรับค่านำหนักที่สร้างโดยการสุ่ม RI

n	0									
RI	.00	.00	.58	.90	.12	.24	.35	.41	.45	.49

ที่มา: Kabir & Hasin (2011)

ค่าสัดส่วนความต้งกัน CR ที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับขนาดของเมทริกซ์ เช่น สำหรับเมทริกซ์ขนาด 3×3 ค่า CR ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 0.05 เมทริกซ์ขนาด 4×4 ค่า CR ที่ยอมรับได้ไม่เกิน 0.08 เมทริกซ์ขนาด $\geq 5 \times 5$ ค่า CR ที่ยอมรับได้ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.1 (Kabir & Hasin, 2011) หาก CR สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้จะต้องนำค่าที่กำหนดไว้สำหรับการเปรียบเทียบรายคู่ในเมทริกซ์เทียบเคียงพัชชีมาทำการวิเคราะห์เพื่อปรับแก้ใหม่ (Kwong & Bai, 2002) **ขั้นตอน 5** หาค่านำหนักรวม (total weights) โดยการสังเคราะห์แอมพริบิต์ในทุกลำดับชั้น แล้วทำการปรับค่า α เพื่อหาค่านำหนักของแต่ละทางเลือก

การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิง

วิเคราะห์แบบพัชชี

ในส่วนนี้จะแสดงการประยุกต์ใช้ FAHP ในการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยการรับรู้ถึงความง่ายใน

การใช้งาน ปัจจัยการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานเป็นแนวคิดจากงานวิจัยของ Venkatesh (2000) ที่ได้ทำการสร้างแบบจำลองของปัจจัยการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (model of the determinants of perceived ease of use) โดยจำแนกออกเป็นสองกลุ่ม (Venkatesh & Bala, 2008) คือ (1) ปัจจัยหลัก (anchors) ที่แสดงให้เห็นถึงความเชื่อทั่วไป (general beliefs) เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ และ (2) ปัจจัยปรับเปลี่ยน (adjustments) ที่แสดงถึงความเชื่อที่ถูกแปรเปลี่ยนไปอันเนื่องจากประสบการณ์ตรง (direct experience) ที่ได้รับจากระบบงานที่ใช้

ปัจจัยหลักประกอบด้วย 4 แอมพริบิต์ ได้แก่ (1) สมรรถนะของตนเองด้านคอมพิวเตอร์ (computer self-efficacy) (2) การรับรู้ต่อการควบคุมจากภายนอก (perception of external control) และ (3) ความวิตกกังวลคอมพิวเตอร์ (computer anxiety) (4) ความสนุกสนานของคอมพิวเตอร์ (computer playfulness)

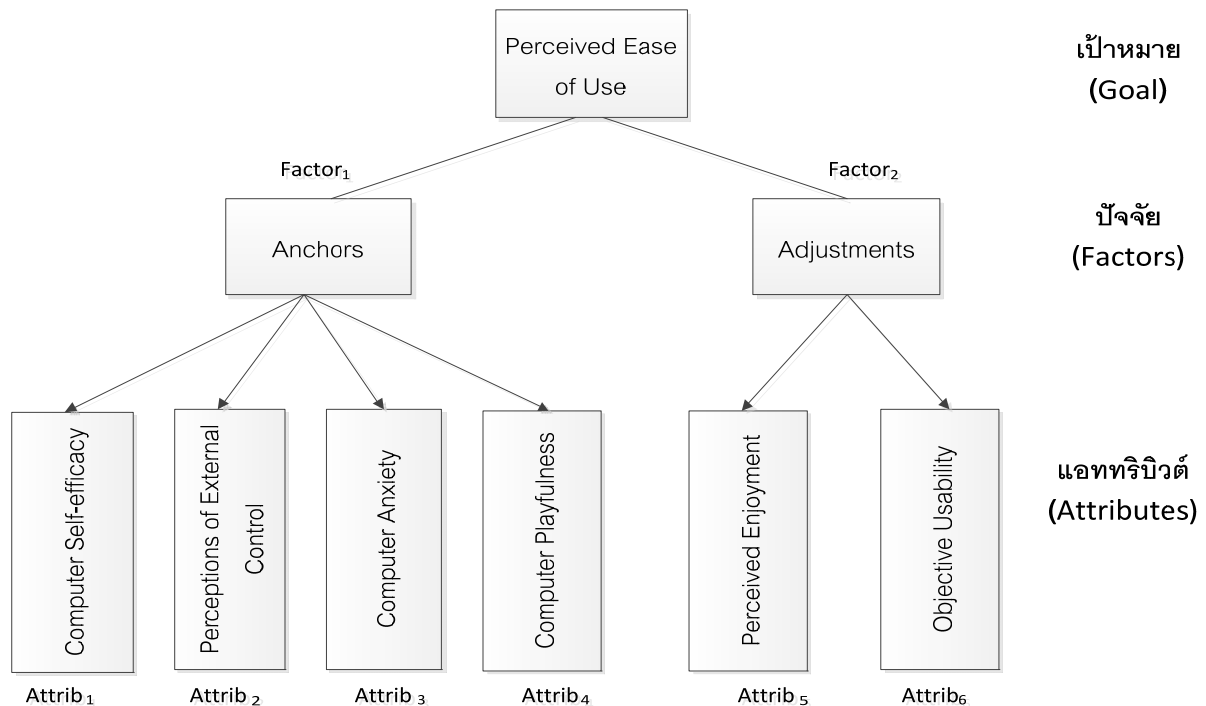
ปัจจัยปรับเปลี่ยน ประกอบด้วย 2 แอททริบิวต์ ได้แก่ (1) ความสนุกสนานที่รับรู้ได้ (perceived enjoyment) และ (2) การใช้ประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ (objective usability)

สำหรับความหมายของแต่ละแอททริบิวต์ ที่มีผลต่อการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้ระบบ แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้

แอททริบิวต์	ความหมาย
สมรรถนะของตนเองด้านคอมพิวเตอร์ (computer self-efficacy)	ระดับที่ผู้ใช้เชื่อว่า มีความสามารถที่เพียงพอต่อการปฏิบัติงานของตนโดยการใช้คอมพิวเตอร์
การรับรู้ต่อการควบคุมจากภายนอก (perceptions of external control)	ระดับที่ผู้ใช้เชื่อว่า มีทรัพยากรทั้งในเชิงเทคนิคและด้านองค์กรเพียงพอที่จะสนับสนุนการใช้งานระบบ
ความวิตกกังวลต่อคอมพิวเตอร์ (computer anxiety)	ระดับที่ผู้ใช้เกิดความหวาดกังวล หรือแม้แต่ความกลัวที่จะต้องใช้คอมพิวเตอร์
ความสนุกสนานของคอมพิวเตอร์ (computer playfulness)	ระดับความสุขที่ผู้ใช้รับรู้ได้เองเนื่องมาจากการมีปฏิสัมพันธ์กับคอมพิวเตอร์
ความเพลิดเพลินที่รับรู้ได้ (perceived enjoyment)	ระดับความเพลิดเพลินที่ผู้ใช้รับรู้ขึ้นเนื่องมาจากการใช้งานระบบ เป็นการใช้งานระบบที่เกิดขึ้นจากแรงจูงใจภายใน (Intrinsic Motivation) มุ่งหวังเพียงจะได้รับความพึงพอใจ โดยไม่ได้ต้องการได้ผลลัพธ์ (Outcomes) ที่มาจากระบบ
การใช้ประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ (objective usability)	การเปรียบเทียบระบบ กับระดับของความพยายามที่ต้องใช้เพื่อให้ทำงานสำเร็จตามวัตถุประสงค์

ที่มา: ปราโมทย์ (2554)



ภาพที่ 4 โครงสร้างลำดับชั้นของของปัจจัยการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน

ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างลำดับชั้นของปัจจัยการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานทั้งหมด ในขั้นตอนการสร้างเมทริกซ์เทียบเคียงพัชชีของแต่ละลำดับชั้น ในระดับล่างสุดจะมีสองเมทริกซ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบแอททริบิวต์ของ Factor₁ และ Factor₂

ตารางที่ 4 สเกลคะแนนเปรียบเทียบ

พัชชีนัมเบอร์	ความหมาย
1	เท่ากัน (equally preferred)
3	ปานกลาง (moderately preferred)
5	ค่อนข้างมาก (strongly preferred)
7	มากกว่า (very strongly preferred)
9	มากที่สุด (extremely preferred)

สำหรับเมทริกซ์เทียบเคียงพัชชีของ Factor₁ ใช้สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างแอททริบิวต์ทั้งสี่ของปัจจัยหลักของการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้โดยใช้พัชชีนัมเบอร์ 1, 3, 5, 7 และ 9 ตามตารางที่ 4 ในการให้คะแนนเปรียบเทียบแอททริบิวต์แต่ละคู่ ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการให้คะแนนเปรียบเทียบแอททริบิวต์ของปัจจัยหลัก

	computer self-efficacy	perceptions of external control	computer anxiety	computer playfulness
computer self-efficacy	1	3	5	9
perceptions of external control	3 ⁻¹	1	3	7
computer anxiety	5 ⁻¹	3 ⁻¹	1	3
computer playfulness	9 ⁻¹	7 ⁻¹	3 ⁻¹	1

ส่วน Factor₂ เป็นปัจจัยปรับเปลี่ยนของการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้ เมทริกซ์เทียบเคียงพัชชีของ Factor₂ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างแอททริบิวต์ “perceived enjoyment” กับ “objective usability” ผลการให้คะแนนเปรียบเทียบแอททริบิวต์ทั้งสองด้วยพัชชีนัมเบอร์แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการให้คะแนนเปรียบเทียบแอททริบิวต์ของปัจจัยปรับเปลี่ยน

	perceived enjoyment	objective usability
perceived enjoyment	1	3
objective usability	3 ⁻¹	1

สำหรับลำดับชั้นบนสุด ใช้เมทริกซ์ FCM₃ สำหรับการเปรียบเทียบปัจจัยของเป้าหมายของการประเมินการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้ ในที่นี้คือการเปรียบเทียบระหว่าง “anchors” กับ “adjustments” ผลการให้คะแนนเปรียบเทียบปัจจัยทั้งสองด้วยพัชชีนัมเบอร์แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการให้คะแนนเปรียบเทียบปัจจัยของเป้าหมาย

	anchors	adjustments
anchors	1	$\tilde{1}$
adjustments	$\tilde{1}^{-1}$	1

จากผลการเปรียบเทียบนำมาสร้างเมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซีของ Factor₁ แทนด้วย FCM₁ เมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซีของ Factor₂ แทนด้วย FCM₂ เมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซีของ Factor₃ แทนด้วย FCM₃ เมทริกซ์ทั้งสามแสดงในรูปสมการที่ (11) (12) และ (13) ตามลำดับ ดังนี้

$$\text{Factor}_1: \text{FCM}_1 = \begin{matrix} & \text{attrib}_1 & \text{attrib}_2 & \text{attrib}_3 & \text{attrib}_4 \\ \begin{matrix} \text{attrib}_1 \\ \text{attrib}_2 \\ \text{attrib}_3 \\ \text{attrib}_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \tilde{3} & \tilde{5} & \tilde{9} \\ \tilde{3}^{-1} & 1 & \tilde{3} & \tilde{7} \\ \tilde{5}^{-1} & \tilde{3}^{-1} & 1 & \tilde{3} \\ \tilde{9}^{-1} & \tilde{7}^{-1} & \tilde{3}^{-1} & 1 \end{bmatrix} & \dots \dots \dots \end{matrix} \quad (11)$$

$$\text{Factor}_2: \text{FCM}_2 = \begin{matrix} & \text{attrib}_5 & \text{attrib}_6 \\ \begin{matrix} \text{attrib}_5 \\ \text{attrib}_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \tilde{3} \\ \tilde{3}^{-1} & 1 \end{bmatrix} & \dots \dots \dots \end{matrix} \quad (12)$$

$$\text{Goal: FCM}_3 = \begin{matrix} & \text{factor}_1 & \text{factor}_2 \\ \begin{matrix} \text{factor}_1 \\ \text{factor}_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \tilde{1} \\ \tilde{1}^{-1} & 1 \end{bmatrix} & \dots \dots \dots \end{matrix} \quad (13)$$

จากสมการ (6) ลิ้มิตบน (upper limit) และลิ้มิตล่าง (lower limit) ของฟัซซีนัมเบอร์ $\tilde{1}, \tilde{3}, \tilde{5}, \tilde{7}$ และ $\tilde{9}$ ในรูปของ α สามารถกำหนดค่าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \tilde{1}_\alpha &= [1, 3 - 2\alpha], & \tilde{1}_\alpha^{-1} &= [\frac{1}{3-2\alpha}, 1], \\ \tilde{3}_\alpha &= [1 + 2\alpha, 5 - 2\alpha], & \tilde{3}_\alpha^{-1} &= [\frac{1}{5-2\alpha}, \frac{1}{1+2\alpha}], \\ \tilde{5}_\alpha &= [3 + 2\alpha, 7 - 2\alpha], & \tilde{5}_\alpha^{-1} &= [\frac{1}{7-2\alpha}, \frac{1}{3+2\alpha}], \\ \tilde{7}_\alpha &= [5 + 2\alpha, 9 - 2\alpha], & \tilde{7}_\alpha^{-1} &= [\frac{1}{9-2\alpha}, \frac{1}{5+2\alpha}], \\ \tilde{9}_\alpha &= [7 + 2\alpha, 11 - 2\alpha], & \tilde{9}_\alpha^{-1} &= [\frac{1}{11-2\alpha}, \frac{1}{7+2\alpha}] \dots \dots \dots \end{aligned} \quad (14)$$

นำฟัซซีนัมเบอร์ลิ้มิตบนและลิ้มิตล่าง จาก (14) แทนค่าลงใน (11), (12) และ (13) จะได้เมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซี FCM₁ FCM₂ และ FCM₃ ดังนี้

$$\text{FCM}_1: \text{Factor}_1 = \begin{matrix} & \text{attrib}_1 & \text{attrib}_2 & \text{attrib}_3 & \text{attrib}_4 \\ \begin{matrix} \text{attrib}_1 \\ \text{attrib}_2 \\ \text{attrib}_3 \\ \text{attrib}_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & [2, 4] & [4, 6] & [8, 10] \\ [\frac{1}{4}, \frac{1}{2}] & 1 & [2, 4] & [6, 8] \\ [\frac{1}{6}, \frac{1}{4}] & [\frac{1}{4}, \frac{1}{2}] & 1 & [2, 4] \\ [\frac{1}{10}, \frac{1}{8}] & [\frac{1}{8}, \frac{1}{6}] & [\frac{1}{4}, \frac{1}{2}] & 1 \end{bmatrix} & \dots \dots \dots \end{matrix} \quad (15)$$

$$FCM_2:Factor_2 = \begin{matrix} attrib_5 \\ attrib_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & [2, 4] \\ [\frac{1}{4}, \frac{1}{2}] & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (16)$$

$$FCM_3:Goal = \begin{matrix} factor_1 \\ factor_2 \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & [1, 2] \\ [\frac{1}{2}, 1] & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (17)$$

จาก (7) คำนวณ $\hat{a}_{ij}^\alpha$ ของแต่ละสมาชิกในเมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซี่ FCM_1 ใน (15) เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.5$ และ $\mu = 0.5$ ได้ค่าเป็น

$$FCM_1^{0.5} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 9 \\ 0.375 & 1 & 3 & 7 \\ 0.208 & 0.375 & 1 & 3 \\ 0.113 & 0.146 & 0.375 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

โดยกำหนดให้ $FCM_1^{0.5} = A$ คำนวณหาค่าไอเกนของเมทริกซ์ A โดยการแก้สมการ $\det(A - \lambda I) = 0$ เพื่อหาค่า λ จะได้ $\lambda_1 = -0.108$, $\lambda_2 = 4.181$, $\lambda_3 = -0.036 + 0.541i$ และ $\lambda_4 = -0.036 - 0.541i$

ผลจากการคำนวณพบว่าค่าไอเกนของเมทริกซ์ A ที่สูงที่สุดคือ λ_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.181 คำนวณไอเกนเวกเตอร์ของ λ_2 ได้โดยการแทนค่าของ λ_2 ในสมการ $Ax = \lambda x$ ผลลัพธ์ที่ได้คือ

$$x_1 = (0.884, 0.428, 0.176, 0.072)^T$$

ทำการปรับค่าน้ำหนักโดยการทำให้เป็นบรรทัดฐาน หรือ นอร์มัลไลเซชัน (normalization) จะได้ค่าน้ำหนักที่ปรับแล้วดังนี้

$$Factor_1: [W_{attrib_1}, W_{attrib_2}, W_{attrib_3}, W_{attrib_4}] = [0.567, 0.274, 0.113, 0.046]$$

ตรวจสอบค่าอัตราส่วนความต้องกัน CR โดยการคำนวณดัชนีความต้องกัน CI จากสมการ $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ในที่นี้ λ_{max} เท่ากับ 4.181 เมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซี่มีขนาดมิติ $n = 4$ จะมี $CI = \frac{4.181 - 4}{3} = 0.060$ จากนั้นคำนวณค่า CR จากสมการ $CR = \frac{CI}{RI}$ ค่า RI ได้จากตาราง 2 มีค่าเท่ากับ 0.90 $CR = \frac{0.060}{0.90}$ ได้ $CI = 0.067$ แสดงว่ายอมรับเมทริกซ์เทียบเคียงฟัซซี่นี้ได้ เนื่องจาก CR มีค่าไม่เกิน 0.08 สำหรับเมทริกซ์ขนาด 4×4

ในลักษณะเดียวกัน คำนวณหาค่าไอเกนของเมทริกซ์ $FCM_2^{0.5}$ และ $FCM_3^{0.5}$ เมื่อกำหนด $\alpha = 0.5$ และ $\mu = 0.5$ จะได้ $FCM_2^{0.5} = A = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 0.375 & 1 \end{bmatrix}$ จากการแก้สมการ $\det(A - \lambda I) = 0$ ได้ $\lambda_1 = -0.060$ และ $\lambda_2 = 2.061$ ค่าไอเกนของเมทริกซ์ $FCM_2^{0.5}$ ที่สูงที่สุดคือ λ_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.061 คำนวณไอเกนเวกเตอร์ของ λ_2 ได้โดยการแทนค่าของ λ_2 ในสมการ $Ax = \lambda x$ ผลลัพธ์ที่ได้คือ $x_2 = (0.943, 0.333)^T$ หลังปรับค่าน้ำหนักโดยการทำนอร์มัลไลเซชัน จะได้ $Factor_2: [W_{attrib_5}, W_{attrib_6}] = [0.739, 0.261]$

$FCM_3^{0.5} = A = \begin{bmatrix} 1 & 1.5 \\ 1.25 & 1 \end{bmatrix}$ จากการแก้สมการ $\det(A - \lambda I) = 0$ ได้ $\lambda_1 = -0.369$ และ $\lambda_2 = 2.369$ ค่าไอเกนของเมทริกซ์ $FCM_3^{0.5}$ ที่สูงที่สุดคือ λ_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.369 คำนวณไอเกนเวกเตอร์ของ λ_2 ผลลัพธ์ที่ได้คือ $x_3 = (0.738, 0.674)^T$ หลังปรับค่าน้ำหนักโดยการทำนอร์มัลไลเซชันจะได้ค่าเป้าหมาย Goal: $[W_{factor_1}, W_{factor_2}] = [0.523, 0.477]$

ตารางที่ 8 คำนวณน้ำหนักรวม

ปัจจัย	ค่าน้ำหนักรวมของปัจจัย	ค่าบุริมภาพ	แอททริบิวต์	ค่าน้ำหนักรวมของแอททริบิวต์	ค่าบุริมภาพ
Factor ₁ : Anchors	$TW_{factor_1} = W_{factor_1} = 0.523$	1	computer self-efficacy	$TW_{attrib_1} = W_{factor_1} \cdot W_{attrib_1} = 0.296$	2
			perception of external control	$TW_{attrib_2} = W_{factor_1} \cdot W_{attrib_2} = 0.143$	3
			computer anxiety	$TW_{attrib_3} = W_{factor_1} \cdot W_{attrib_3} = 0.059$	5
			computer playfulness	$TW_{attrib_4} = W_{factor_1} \cdot W_{attrib_4} = 0.024$	6
Factor ₂ : Adjustments	$TW_{factor_2} = W_{factor_2} = 0.477$	2	perceived enjoyment	$TW_{attrib_5} = W_{factor_1} \cdot W_{attrib_5} = 0.352$	1
			objective usability	$TW_{attrib_6} = W_{factor_1} \cdot W_{attrib_6} = 0.124$	4

จากการเปรียบเทียบค่าบุริมภาพในตารางที่ 8 สามารถเรียงลำดับความสำคัญของแอททริบิวต์ของปัจจัยจากสำคัญมากไปสำคัญน้อย โดยการเปรียบเทียบรายคู่ได้ดังนี้ (1) ความเพลิดเพลินที่รับรู้ได้ (2) สมรรถนะของตนเองด้านคอมพิวเตอร์ (3) การรับรู้ต่อการควบคุมจากภายนอก (4) การใช้ประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ (5) ความวิตกกังวลต่อคอมพิวเตอร์ (6) ความสนุกสนานของคอมพิวเตอร์

สรุป

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่ มักนำมาใช้สำหรับช่วยการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ จากความสามารถในแปลงข้อมูลเชิงคุณภาพให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ ภายใต้การตัดสินใจในภาวะการณ์ไม่แน่นอน และมีขอบเขตของปัจจัยที่คลุมเครือ จึงเป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ในงานที่หลากหลาย ทั้งในการศึกษา วิจัย และการ

ประยุกต์ใช้กับตำแหน่งงานของธุรกิจที่มักต้องมีการแก้ปัญหาลักษณะต่าง ๆ และตัดสินใจหาทางเลือกที่เหมาะสม บทความนี้อธิบายแนวคิดพื้นฐาน ขั้นตอนของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์แบบฟัซซี่ และการประยุกต์ใช้ในการประเมินค่าน้ำหนักเพื่อจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยตัวอย่างที่นำมาเสนอนี้ได้นำเกณฑ์ปัจจัยของการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานมาแสดงการใช้ FAHP และใช้ข้อมูลที่สมมติขึ้นเพื่อแสดงการเรียงลำดับปัจจัย สำหรับการนำ FAHP ไปใช้ในงานจริง ควรดำเนินการตั้งแต่การกำหนดปัจจัยหลักของทางเลือกในการตัดสินใจ กำหนดองค์ประกอบย่อยแต่ละปัจจัยหลัก กำหนดแอททริบิวต์ที่เหมาะสมให้กับองค์ประกอบเหล่านั้น ส่วนการเปรียบเทียบและให้คะแนนแต่ละเกณฑ์ปัจจัยอาจใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่าง หรือใช้วิธีการประเมินและให้คะแนนโดยผู้เชี่ยวชาญ

บรรณานุกรม

- Chen, Y.C., Lien, H., Tzeng, G.H., & Yang, L.S. (2011). Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Applied Soft Computing*, 265-275.
- Cheng, A.C., Cheng, C.J., & Chen, C.Y. (2008). fuzzy multiple criteria comparison of technology forecasting methods for predicting the new materials development. *Technological Forecasting & Social Change*, 131-140.
- Kabir, G., & Hasin, A. A. (2011). Comparative Analysis of Ahp and Fuzzy AHP Models for Multicriteria Inventory Classification. *International Journal of Fuzzy Logic Systems*, 1.
- Kwong, C. K., & Bai, H. (2002). A fuzzy AHP approach to the determination of importance weights of customer requirements in quality function deployment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 367-377.
- Lee, R. A. (1999). *Application of Modified Fuzzy AHP Method to Analyze Bolting Sequence of Structural Joints*. UMI Dissertation Services.
- Mandal, S., Choudhury, J., De, D., & Chaudhuri, S. (2008). Roll of Membership Functions in fuzzy logic for prediction of Shoot Length of Mustard Plant Based on Residual Analysis. *World Academy of Science, Engg and Tech*, 378-384.
- Saaty, L. T. (1980). *Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Stair Jr, B., & M, R. (2000). *Quantitative Analysis for Management* (7 ed.). Prentice-hall.
- Vaidya, O., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: an overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 1-29.
- Venkatesh, V. (2000). Determinants of perceived ease of use: Integrating perceived behavioral control, computer anxiety and enjoyment into the technology acceptance model. *Information Systems Research*, 342-365.
- Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39, 273-315.
- Wu, H., Tzeng, G., & Chen, Y. (2009). A fuzzy MCDM approach for evaluating banking performance based on Balanced Scorecard. *Expert Systems with Applications*, 36(6), 10135-10147.
- Yadav, H., Jain, R., Shukla, S., & Mishra, P. (2012, April). Prioritized aesthetic attributes of product: A fuzzy-AHP approach. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 4, 1281-1291.
- ปราโมทย์ ลื่อนาม. (2554). แนวความคิด และ วิชาการของแบบจำลองการยอมรับการใช้ เทคโนโลยี. วารสารการจัดการสมัยใหม่ สาขาวิชาวิทยาการจัดการ. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1.