การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ

โดย

วรรณวิภา วงศ์วิไลสกุล

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2566

DESIGN AND DEVELOPMENT OF GRADUATE ADMISSION RECOMMENDER SYSTEM USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS AND FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

BY

WANVIPA WONGVILAISAKUL

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

A DISSERTATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR

THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

IN INFORMATION TECHNOLOGY

COLLEGE OF DIGITAL INNOVATION TECHNOLOGY

GRADUATE SCHOOL, RANGSIT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2023

ดุษฎีนิพนธ์เรื่อง

การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ

โดย

วรรณวิภา วงศ์วิไลสกุล

ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยรังสิต
ปีการศึกษา 2566

รศ. อานนท์ สุขเสถียรวงศ์ ประธานกรรมการสอบ	รศ. ดร.สิริพร ศุภราทิตย์ กรรมการ
ผศ. ดร.มีนนภา รักษ์หิรัญ กรรมการ	ผศ. ดร.กวีวัฒน์ อำนาจโชติพันธุ์ กรรมการ
	รศ. ดร.ปณิธิ เนตินันทน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ. ร.ต.หญิง ดร.วรรณี ศุขสาตร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
15 สิงหาคม 2566

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Dissertation entitled

DESIGN AND DEVELOPMENT OF GRADUATE ADMISSION RECOMMENDER SYSTEM USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS AND FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

by

WANVIPA WONGVILAISAKUL

was submitted in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Doctor of Philosophy in Information Technology

Rangsit University
Academic Year 2023

----------	----------
Assoc. Prof. Anon Sukstrienwong Examination Committee Chairperson	Assoc. Prof. Siriporn Supratid, D.Tech.Sci. Member
----------	----------
Asst. Prof. Meennapa Rukhiran, Ph.D. Member	Asst. Prof. Kawiwat Amnatchotiphan, D.Eng. Member

---

Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.
Member and Advisor

Approved by Graduate School

(Asst. Prof. Plt. Off. Vannee Sooksatra, D.Eng.)
Dean of Graduate School
August 15, 2023

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

กิตติกรรมประกาศ

ดุษฎีนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เพราะได้รับความกรุณาจากบุคคลที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและเป็นต้นแบบของการให้ โดยไม่หวังสิ่งตอบแทน จนเป็นแรงผลักดันที่สำคัญในการเข้าสู่สายวิชาชีพอาจารย์ รวมถึงครอบครัวที่คอยให้กำลังใจอยู่เสมอจนสามารถฟันฝ่าอุปสรรคมาสู่ความสำเร็จได้

ขอขอบคุณสถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ ผู้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา และ รศ. ดร. พิสิษฐ์ ชาญเกียรติก้อง ผู้บังคับบัญชาที่ให้โอกาสศึกษาต่อในระดับปริญญาเอกและคอยให้ความช่วยเหลือเมื่อพบปัญหา

เหนือสิ่งอื่นใด ขอขอบคุณ รศ. ดร.ปณิธิ เนตินันทน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำในการจัดทำดุษฎีนิพนธ์และการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานได้อย่างมีคุณภาพ ด้วยการสร้างบรรยากาศทางวิชาการที่เข้มแข็งให้แก่นักศึกษา รวมถึงขอขอบคุณ รศ. อานนท์ สุขเสถียรวงศ์ ประธานกรรมการสอบ รศ. ดร.สิริพร ศุภราทิตย์ ผศ. ดร.กวีวัฒน์ อำนาจโชติพันธุ์ และ ผศ. ดร.มีนนภา รักษ์หิรัญ คณะกรรมการสอบที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์และชี้แนะแนวทางการจัดทำรายงานดุษฎีนิพนธ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

นอกจากนี้ ขอขอบคุณผู้อำนวยการหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการวางแผนการเรียนอย่างเป็นระบบและติดตามความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนคณาจารย์ในหลักสูตร และ ผศ. ดร.สมชาย เล็กเจริญ ที่ถ่ายทอดความรู้ในสาขาวิชาและเทคนิคการทำวิจัยอย่างมืออาชีพ เพื่อให้สามารถนำมาต่อยอดได้อย่างเหมาะสม รวมถึงคณะผู้บริหารและบุคลากรวิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยีที่ให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา และที่ขาดไม่ได้อย่างยิ่ง ขอขอบคุณศิษย์เก่าและนักศึกษาในหลักสูตรที่คอยช่วยเหลือเกื้อกูลกันดั่งพี่น้อง

วรรณวิภา วงศ์วิไลสกุล

ผู้วิจัย

5709655	:	วรรณวิภา วงศ์วิไลสกุล
ชื่อดุษฎีนิพนธ์	:	การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ
หลักสูตร	:	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	รศ. ดร.ปณิธิ เนตินันทน์

บทคัดย่อ

การศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาถือเป็นการลงทุนที่สร้างโอกาสยั่งยืนในการพัฒนาคุณภาพชีวิตในด้านความรู้ พฤติกรรม และความก้าวหน้าในอาชีพ การนำเทคโนโลยีข้อมูลขั้นสูงช่วยลดความเสี่ยงของทรัพยากรมนุษย์โดยให้การแนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาที่อิงจากความต้องการและความชื่นชอบระดับบุคคล ในยุคดิจิทัลนี้ระบบผู้แนะนำแบบพลวัตจัดเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการเลือกมหาวิทยาลัยเพื่อเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ให้ความสนใจด้านการออกแบบ การพัฒนา และการทดสอบระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือโดยการพิจารณาหลายเกณฑ์แบบพลวัต ทั้งนี้ระบบผู้แนะนำแบบหลายเกณฑ์ถูกออกแบบและถูกพัฒนาด้วยเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้สถาปัตยกรรมแพลตฟอร์มคลาวด์ เพื่อรองรับการบริหารและการตัดสินใจของผู้ใช้งานที่ต้องการเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา การออกแบบนำเสนอแนวคิดโครงสร้างข้อมูลหลายเกณฑ์แบบพลวัตรวมจำนวน 17 เกณฑ์ เช่น ชื่อเสียงมหาวิทยาลัย ความชำนาญของคณาจารย์ สถานที่ศึกษา ค่าลงทะเบียนเข้าศึกษาต่อ เป็นต้น โดยใช้ค่าคะแนนความสำคัญมาพิจารณาเกณฑ์และทางเลือกตามลำดับความพึงพอใจ ด้วยการเปรียบเทียบทีละคู่และพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลเพื่อจัดลำดับทางเลือกจากค่าคะแนนที่คำนวณได้โดยระบบ การตรวจสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของหลักสูตรที่เสนอแนะให้ผู้ใช้จากระบบผู้แนะนำหลายเกณฑ์แบบพลวัตเปรียบเทียบกับหลักสูตรที่นักศึกษาได้สมัครและลงทะเบียนเข้าศึกษาต่อจริง ระบบสามารถให้บริการรายบุคคลในการจัดอันดับการศึกษาต่อจากการประเมินผลลัพธ์พิจารณาหลายเกณฑ์แบบพลวัตและการพิจารณาคะแนนที่ผู้ใช้ให้ของความสำคัญแต่ละเกณฑ์ถูกนำมาประมวลผลลัพธ์เป็นรายชื่อหลักสูตรที่เหมาะสมเสนอแนะเพื่อเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ระบบทำการทดสอบจากผู้ใช้งานของนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาจำนวน 80 คน โดยวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของการใช้งานระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาโดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ ตามหลักการประเมินความถูกต้องด้วยวิธี top-1 top-2 และ F1-score ซึ่งผลลัพธ์ความถูกต้องการแนะนำหลักสูตรที่เหมาะสมเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาจากกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือมีค่าความถูกต้องสูงกว่ากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

(วิทยานิพนธ์มีจำนวนทั้งสิ้น 137 หน้า)

คำสำคัญ: การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ ระบบผู้แนะนำ หลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา การพัฒนาซอฟต์แวร์

ลายมือชื่อนักศึกษา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

5709655	:	Wanvipa Wongvilaisakul
Dissertation Title	:	Design and Development of Graduate Admission Recommender System using Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Analytical Hierarchy Process
Program	:	Doctor of Philosophy in Information Technology
Dissertation Advisor	:	Assoc. Prof. Paniti Netinant, Ph.D.

Abstract

Postgraduate education is viewed as an investment that generates opportunities for sustainable personal growth in knowledge, behavior, and career advancement. Utilizing advanced data technology increases the likelihood of making well-informed decisions by recommending appropriate postgraduate study options based on an individual's specific needs and preferences. In this digital age, a dynamic recommendation system is deemed necessary to improve the effectiveness of postgraduate university selection.

This study focuses on designing, developing, and testing a postgraduate education recommendation system. Multiple criteria are dynamically considered using analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP) methodologies. The multi-criteria recommendation system is designed and implemented as a web application utilizing cloud architecture to support efficient management and decision-making for postgraduate-seeking users. The multi-criteria data structure concept presentation includes 17 criteria, including, among others, university reputation, faculty expertise, institution location, and tuition fees. The relative satisfaction of these criteria is determined using importance scores and user preferences. The system ranks alternatives based on the computed scores after evaluating the consistency of the data and recommending options based on pairwise comparisons. The efficacy and precision of the recommender system are evaluated by comparing it to the actual courses for which students have registered. The system can generate personalized rankings based on multiple criteria, considering user preferences and importance scores. It has been tested and validated by eighty graduate students who evaluated its performance in recommending appropriate postgraduate programs. The evaluation procedure employs various performance metrics, including top-1, top-2, and F1-score, to determine the precision of the recommended courses. Comparing a single-criteria decision-making approach to a multi-criteria decision-making approach, the results demonstrate that the system's accuracy in recommending suitable postgraduate programs is significantly higher when using a multi-criteria decision-making approach.

(Total 137 pages)

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Analytical Hierarchy Process, Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Recommender System, Graduate Programs, Software Development

Student's Signature …..... Dissertation Advisor's Signature .....

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย		**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		**ค**
สารบัญ		**ง**
สารบัญตาราง		**ฉ**
สารบัญรูป		**ซ**
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	6
	1.3 คำถามของการวิจัย	6
	1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย	9
	1.5 นิยามศัพท์	11
บทที่ 2	**แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	**13**
	2.1 การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา	13
	2.2 ระบบผู้แนะนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
	2.3 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน	18
	2.4 การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์	20
	2.5 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
	2.6 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
	2.7 เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาศึกษาต่อ	39
บทที่ 3	**ระเบียบวิธีการวิจัย**	**44**
	3.1 ขั้นตอนการทบทวนปัญหา	44
	3.2 ขั้นตอนการทบทวนงานวรรณกรรม AHP, Fuzzy AHP และระบบผู้แนะนำ	45

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญ

		หน้า
	3.3 การทบทวนและออกแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	45
	3.4 ขั้นตอนการนำเสนอเกณฑ์ที่เลือกใช้	46
	3.5 ขั้นตอนการพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	50
	3.6 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ AHP และ Fuzzy AHP ในการจัดอันดับเกณฑ์	57
	3.7 ขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของการใช้ระบบผู้แนะนำ	63
	3.8 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP	63
	3.9 ขั้นตอนการสรุปผลการวิจัย	64
บทที่ 4	**ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**	**65**
	4.1 ผลการพัฒนาระบบผู้แนะนำบัณฑิตศึกษา	65
	4.2 ผลลัพธ์ทางสถิติเชิงพรรณนา	72
	4.3 ผลลัพธ์การเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัตของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	73
	4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ความถูกต้องของ AHP และ Fuzzy AHP	78
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	**82**
	5.1 สรุปผลการวิจัย	82
	5.2 อภิปรายผล	84
	5.3 ข้อจำกัดและงานวิจัยในอนาคต	86
	บรรณานุกรม	87
	ภาคผนวก	92
	ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ	93
	ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ	100
	ประวัติผู้วิจัย	137

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงจำนวนนักศึกษาระดับสูงกว่าระดับปริญญาตรี ปีการศึกษา 2562 – 2564	2
1.2	แสดงจำนวนนักศึกษาระดับสูงกว่าระดับปริญญาตรีในสถานศึกษาของรัฐบาลและเอกชน ปีการศึกษา 2562 – 2564	2
2.1	แสดงร้อยละของบทความจำแนกตามประเด็นการแนะนำ	17
2.2	แสดงข้อดีและข้อเสียของตัวอย่างวิธีการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์	22
2.3	แสดงตัวเลขและระดับความสำคัญ 9 ระดับ	25
2.4	แสดงตัวอย่างการหาความสอดคล้อง	29
2.5	แสดงค่า RI ตามขนาดตารางเมตริกซ์	29
2.6	แสดงแมตริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่แบบฟัซซี่	34
2.7	แสดงขั้นตอนการหาค่าของการสังเคราะห์ Fuzzy	35
2.8	แสดงผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์	37
2.9	แสดงเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยและจำนวนผู้เลือกตอบ	40
3.1	เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	46
3.2	แสดงการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (pairwise comparison) ของเกณฑ์	59
3.3	การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของเกณฑ์	61
3.4	การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 1	61
3.5	การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 2	62
3.6	การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 3	62
3.7	การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 4	62
4.1	แสดงผลลัพธ์ทางสถิติเชิงพรรณนาของกลุ่มผู้ทดลองใช้งาน	72
4.2	แสดงตัวอย่างการเลือกใช้การเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัตของกลุ่มผู้ทดลองใช้งาน	75
4.3	แสดงผลลัพธ์การเรียงลำดับของเกณฑ์ที่ถูกเลือกใช้	76
4.4	ตัวอย่างการเลือกพิจารณาแบบหลายเกณฑ์และหลายทางเลือกของกลุ่มผู้ใช้งานและค่าความสอดคล้อง	77
4.5	แสดงค่าความถูกต้องวิธี Top-1	80

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

4.6 แสดงค่าความถูกต้องวิธี Top-2 80

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงโครงสร้างการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	5
1.2	คำถามของการวิจัยด้านเกณฑ์การพิจารณาในการศึกษาต่อ	6
1.3	คำถามของการวิจัยด้านสถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำ	7
1.4	คำถามของการวิจัยด้านเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP ของระบบผู้แนะนำ	7
1.5	คำถามของการวิจัยด้านค่าความถูกต้องของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP	8
1.6	คำถามของการวิจัยด้านสถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำที่มีการเลือกเกณฑ์ที่แตกต่างกัน	8
1.7	กรอบแนวคิดของการวิจัย	10
2.1	แสดงวงจรชีวิตการพัฒนาเว็บ (Web Development Life Cycle)	19
2.2	แสดงกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์	21
2.3	แสดงตัวอย่างวิธีการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์	22
2.4	แสดงโครงสร้างการเลือกรายวิชาด้วยเทคนิค AHP	24
2.5	แสดงวิธีการคำนวณหาจำนวนคู่ในการเปรียบเทียบทีละคู่	25
2.6	แสดงตัวอย่างในการให้ค่าคะแนนความพึงพอใจต่อแอปเปิ้ล กล้วย และ เชอรี่	26
2.7	แสดงการตรวจสอบกรณีข้อมูลมีความสอดคล้องกัน	26
2.8	การสร้างให้เป็นโครงสร้างลำดับชั้น	27
2.9	ตัวอย่างการเปรียบเทียบรายคู่ของเกณฑ์/ทางเลือก	27
2.10	แสดงตัวอย่างการแปลงคะแนนของเกณฑ์ให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์	28
2.11	แสดงตัวอย่างการแปลงคะแนนของทางเลือกให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์	28
2.12	แสดงการคำนวณเพื่อจัดอันดับทางเลือก	30
2.13	แสดงกระบวนการของ Fuzzy AHP	31
2.14	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม	32
2.15	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสี่เหลี่ยมคางหมู	32
2.16	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเกาส์เซียน	33

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.17	การกำหนด Fuzzy Scale ให้กับระดับความสำคัญ 9 ระดับ ที่มีฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบสามเหลี่ยม	33
2.18	ค่าความสำคัญของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม	34
2.19	แสดงการหา Degree of Membership	36
2.20	ตัวอย่างการคำนวณหาค่าน้ำหนักของเกณฑ์	37
2.21	โครงสร้าง AHP ในการคัดเลือกบุคลากรสายวิชาการของมหาวิทยาลัย	38
2.22	แสดงการจำแนกเกณฑ์ที่ใช้ในการในการเลือกสถาบันการศึกษาระดับสูงกว่ามัธยมศึกษา	41
2.23	โครงสร้างลำดับชั้นของเกณฑ์ในการเลือกสถาบันการศึกษาระดับสูงกว่ามัธยมศึกษา	42
3.1	สถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	51
3.2	Use case Diagram ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	52
3.3	แผนภาพการไหล (Information flow diagram) ของสารสนเทศของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	53
3.4	แสดงหน้าจอการเลือกหลักสูตร เกณฑ์ และมหาวิทยาลัย	54
3.5	แสดงหน้าจอการเลือกระดับความพึงพอใจของเกณฑ์	55
3.6	แสดงหน้าจอการเลือกระดับความพึงพอใจของมหาวิทยาลัย	56
3.7	แสดงหน้าจอแสดงผลการจัดอันดับทางเลือกมหาวิทยาลัย	57
3.8	แสดงหน้าจอค่าน้ำหนักของทางเลือกมหาวิทยาลัยแต่ละทางเลือก	57
3.9	แสดงโครงสร้างของการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	58
3.10	กระบวนการของ AHP และ Fuzzy AHP ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา	58
4.1	ขั้นตอนการเลือกหลักสูตรในระดับบัณฑิตศึกษา	66
4.2	ขั้นตอนการเลือกเกณฑ์การพิจารณาในรูปแบบที่เป็นพลวัต	67
4.3	ขั้นตอนการเลือกทางเลือกมหาวิทยาลัย	67

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	ขั้นตอนการให้คะแนนความพึงพอใจของเกณฑ์	68
4.5	ขั้นตอนการให้คะแนนความพึงพอใจของทางเลือกมหาวิทยาลัย	69
4.6	แสดงหน้าจอการจัดอันดับทางเลือกมหาวิทยาลัย และ ผลลัพธ์ของแต่ละทางเลือก	70
4.7	แสดงหน้าจอผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์	70
4.8	แสดงหน้าจอผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์แยกตามทางเลือกมหาวิทยาลัย	71
4.9	แสดงรูปแบบการเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัต	74
4.10	การเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง Top-1 Top-2 precision recall และ F1-Score ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP ในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก	79
5.1	แสดงผลวิจัยด้านการออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP	83
5.2	แสดงผลวิจัยด้านการออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP	84
5.3	ด้านเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP สำหรับระบบผู้แนะนำ	84
5.4	ด้านการสะท้อนมุมมองความแตกต่างในมิติของข้อมูลที่หลากหลาย	85

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาคือรากฐานสำคัญของการพัฒนาคุณภาพคนที่จะนำไปสู่การพัฒนาในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเศรษฐกิจ การเมือง สังคมและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพราะคนคือกุญแจที่จะไขสู่ประตูของการพัฒนาในทุกมิติ ดังนั้น การยกระดับการศึกษาของประชาชนในฐานะเป็นพลเมืองของประเทศจึงถือเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาคนเพื่อให้คนไปพัฒนาประเทศต่อไปการศึกษาจึงเป็นเครื่องมือของการพัฒนาคนให้มีคุณภาพอันเป็นเป้าหมายของการพัฒนาตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ที่มุ่งพัฒนาให้คนไทยมีทักษะและคุณลักษณะที่เหมาะสมกับโลกยุคใหม่ ทั้งทักษะด้านความรู้ ทักษะทางพฤติกรรม และคุณลักษณะตามบรรทัดฐานที่ดีของสังคม รวมถึงเร่งรัดการเตรียมพร้อมกำลังคนให้มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของตลาดแรงงาน และเอื้อต่อการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจไปสู่ภาคการผลิตและบริการเป้าหมายที่มีศักยภาพและผลิตภาพสูงขึ้น รวมทั้งให้ความสำคัญกับการสร้างหลักประกันและความคุ้มครองทางสังคมที่สามารถส่งเสริมความมั่นคงในชีวิต (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2565)

ปัจจุบันสถาบันอุดมศึกษาของไทยได้มีการพัฒนาหลักสูตรในระดับสูงกว่าปริญญาตรีที่มีความหลากหลาย สามารถรองรับความต้องการของผู้เรียนได้มากยิ่งขึ้น หากพิจารณาข้อมูลจำนวนนักศึกษาระดับสูงกว่าปริญญาตรี ปีการศึกษา 2562 – 2564 ในตารางที่ 1.1 และ 1.2 พบว่าจำนวนผู้ศึกษาต่อในระดับสูงกว่าปริญญาตรีมีจำนวนเพิ่มขึ้น

จากความสนใจในการเข้าศึกษาต่อในระดับสูงกว่าปริญญาตรีที่เพิ่มขึ้น สามารถสะท้อนได้ว่าประชาชนในประเทศไทยต้องการยกระดับคุณภาพชีวิตของตัวเองให้สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มระดับความสามารถของแรงงานไทยในอนาคตให้สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้น การสนับสนุนการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อในระดับสูงกว่าปริญญาตรียังถือว่ามีความสำคัญมากต่อการวางแผนความก้าวหน้าในสายอาชีพของผู้เรียน เพราะนอกจากจะช่วยเพิ่มความเชี่ยวชาญแล้ว ยังช่วยสร้างความสามารถเฉพาะทางได้ตามความสนใจของผู้เรียนอีกด้วย (Bedir, Özder & Eren, 2016)

ตารางที่ 1.1 แสดงจำนวนนักศึกษาระดับสูงกว่าระดับปริญญาตรี ปีการศึกษา 2562 – 2564

ระดับการศึกษา	2562	2563	2564
สูงกว่าปริญญาตรี	129,705	138,989	140,075
ประกาศนียบัตรบัณฑิต	8,771	9,150	10,363
ปริญญาโท	95,461	101,955	100,458
ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง	1,544	1,228	1,299
ปริญญาเอก	23,929	26,656	27,955

ที่มา: กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ, 2566

ตารางที่ 1.2 แสดงจำนวนนักศึกษาระดับสูงกว่าระดับปริญญาตรี ในสถานศึกษาของรัฐบาลและเอกชน ปีการศึกษา 2562 – 2564

ระดับการศึกษา	2562		2563		2564	
	รัฐบาล	เอกชน	รัฐบาล	เอกชน	รัฐบาล	เอกชน
สูงกว่าปริญญาตรี	105,314	24,391	113,821	25,168	113,019	27,056
ประกาศนียบัตรบัณฑิต	4,935	3,836	5,509	3,641	6,778	3,585
ปริญญาโท	77,431	18,030	83,489	18,466	80,721	19,737
ประกาศนียบัตรบัณฑิตชั้นสูง	1,544	-	1,228	-	1,299	-
ปริญญาเอก	21,404	2,525	23,595	3,061	24,221	3,734

ที่มา: กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ, 2566

การศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา ถือเป็นช่วงเวลาสำคัญในการศึกษาเพื่อการประกอบอาชีพและการสร้างความมั่นคงของชีวิต ดังนั้น การพิจารณาปัจจัยต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกสถาบันอุดมศึกษาที่เหมาะสมและสอดคล้องกับความสนใจของผู้เรียน ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการวางทิศทางการศึกษาเพื่อให้มุ่งไปสู่ความสำเร็จของชีวิต ทั้งนี้เกณฑ์ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจศึกษาต่อในระดับสูงกว่าปริญญาตรีหรือระดับบัณฑิตศึกษา ได้แก่ เกณฑ์ด้านความสะดวกในการเดินทาง ค่าเล่าเรียนไม่แพง ระบบจ่ายค่าเล่าเรียนสะดวก โอกาสสำเร็จการศึกษาตามระยะเวลาที่หลักสูตรกำหนด ทุนสนับสนุนการศึกษา ครูอาจารย์ เพื่อนหรือรุ่นพี่แนะนำมา และพื้นที่กว้างสภาพแวดล้อมดี เป็นต้น (ประณมกร อัมพรพรรดิ์, 2554)

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

นักศึกษาที่สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีส่วนใหญ่แสวงหาโอกาสในการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขันและสร้างความมั่นคงในชีวิต โดยส่วนมากมีการสมัครเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยจากหลากหลายประเทศโดยใช้ประวัติการศึกษาร่วมกับผลการสอบมาตรฐาน เช่น GRE TOEFL และ IELTS เพื่อให้มหาวิทยาลัยใช้ในการคัดเลือก ทั้งนี้มหาวิทยาลัยจะพิจารณาคุณสมบัติของผู้สมัครที่เหมาะสม จากประวัติการศึกษา ผลสอบมาตรฐาน และประสบการณ์ทำงานที่สอดคล้องกับการทำวิจัย ผู้สมัครจึงต้องการหาคำตอบให้แก่ตนเองในด้านต่างๆ อาทิ มหาวิทยาลัยใดที่เหมาะสม นักศึกษาประเภทใดที่มีโอกาสได้รับทุนการศึกษา และปัจจัยใดบ้างที่จะเพิ่มโอกาสในการได้รับทุนหลังจากที่เลือกมหาวิทยาลัยที่เหมาะสม เป็นต้น (Kuanr, Das & Ojha, 2017)

การตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมที่สุดถือเป็นหนึ่งในการตัดสินใจที่สำคัญที่สุดในชีวิต เนื่องจากการเลือกมหาวิทยาลัยนั้นนักศึกษาไม่เพียงตัดสินใจเลือกหลักสูตรระดับอุดมศึกษาเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อการตัดสินใจเลือกอาชีพในอนาคตด้วย ดังนั้น การทำความเข้าใจข้อมูลที่มีอยู่เพื่อประเมินผลลัพธ์จากตัวเลือกต่างๆ ในการเลือกหลักสูตรระดับอุดมศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่าปริญญาตรีจึงมีความสำคัญเช่นกัน เพราะนักศึกษาจะเป็นผู้ตัดสินใจในอาชีพการงานของตนเองด้วย หากตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมและได้ทำงานในหน้าที่การงานที่ดีจะช่วยให้สามารถบรรลุผลสำเร็จในสายอาชีพและเป็นการยกระดับทางสังคม กล่าวได้ว่าการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยนับว่ามีความซับซ้อน และจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสำคัญหรือเกณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการประเมินความแตกต่างของทางเลือก (Kilic, 2011)

อย่างไรก็ดีปัจจุบันสถาบันอุดมศึกษาได้เผชิญกับความท้าทายที่หลากหลาย อาทิ การแข่งขันทางการตลาด การถูกลดงบประมาณสนับสนุนจากภาครัฐ การเพิ่มขึ้น/ลดลงของจำนวนผู้เรียน และความหลากหลายของสาขาวิชาในสถาบันการศึกษา ซึ่งส่งผลให้สถาบันการศึกษาส่วนใหญ่จำเป็นต้องรักษาประสิทธิภาพในการให้บริการสนับสนุนผู้เรียน เช่น การส่งเสริมหลักสูตร การสนับสนุนการเรียนรู้ และการให้คำปรึกษาและพัฒนาอาชีพแก่นักศึกษา เป็นต้น นอกจากนี้สถาบันการศึกษาต่างๆ ยังพัฒนาและเพิ่มจำนวนหลักสูตรมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้การตัดสินใจเลือกเข้าศึกษาต่อกลายเป็นบทบาทที่สำคัญของการเรียนรู้สมัยใหม่ ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่ค้นพบว่าผู้เรียนหลายพันคนทั่วโลกเผชิญความท้าทายในการเลือกหลักสูตรและมหาวิทยาลัยในระดับอุดมศึกษาที่เหมาะสมกับตนเอง และจะเป็นการดีไม่น้อยถ้าให้ผู้เรียนสามารถเลือกหลักสูตรหรือมหาวิทยาลัยที่ตรงกับความสามารถและความสนใจได้โดยอาศัยระบบผู้แนะนำ (Recommender System) มาช่วย

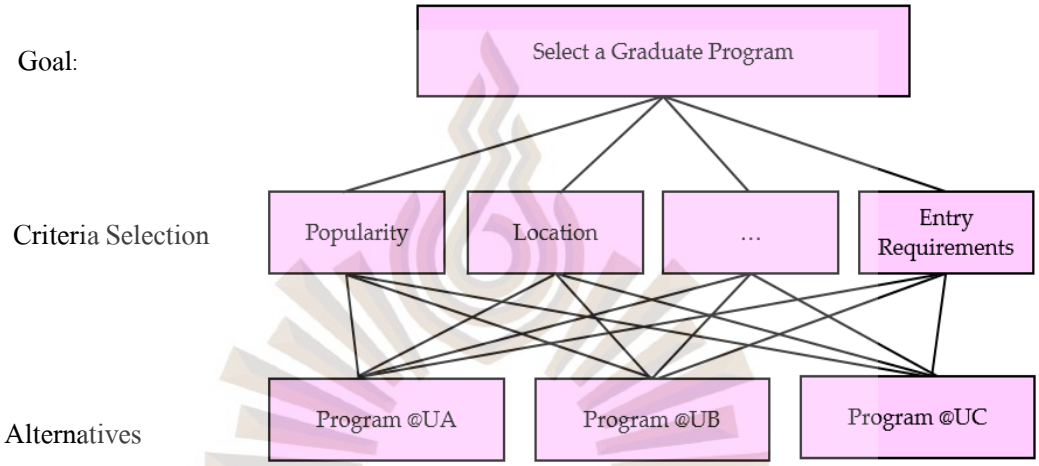
ลดเวลาในการค้นหาข้อมูลและสนับสนุนการตัดสินใจให้แก่นักศึกษา (Lynn & Emanuel, 2020)ได้พบทางเลือกที่เหมาะสมและดีที่สุดในการศึกษาต่อ

เมื่อมีการนำหลักการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making: MCDM) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการประเมินทางเลือกมาใช้ในการตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัย โดยพิจารณาลำดับความสำคัญของเกณฑ์จากมากสุดไปหาน้อยสุด จะช่วยให้เกิดประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Hasan, Ibrahim & Idrus, 2021) อย่างไรก็ตาม MCDM มีเทคนิควิธีการที่หลากหลาย อาทิ การรวมแบบถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Simple Additive Weighting: SAW) กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP) เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution: TOPSIS) เป็นต้น (วิจัย บุญญานุสิทธิ์ และคนอื่นๆ, 2564) โดยแต่ละวิธีการจะมีจุดแข็งและแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหา ความพร้อมใช้ของข้อมูล และตัวเลือกที่นำมาสนับสนุนการตัดสินใจ (Amin, Mehdi, & Xiaopeng, 2022)

ทั้งนี้วิธีการ AHP ได้รับความสนใจในการนำมาสนับสนุนการตัดสินใจที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีหลายเกณฑ์ (Nolberto & Eloy, 2021) ด้วยการจัดเรียงตัวแปรในรูปแบบลำดับชั้น มีการกำหนดค่าตัวเลขลำดับความสำคัญของแต่ละตัวแปร หากตัวแปรใดที่มีค่าความสำคัญสูงสุดจะมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ในการตัดสินใจ (Runtuwene, Tangkawarow & Parinsi, 2018) โดยมีการพัฒนาต่อยอดเป็นกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ (Fuzzy Analytical Hierarchy Process : Fuzzy AHP) ซึ่งนำฟัซซีเซต (Fuzzy Set) มาเป็นตัวแปรในการพิจารณาค่าการตัดสินใจที่มีความไม่แน่นอน (Mahad, Yusof, & Ismail, 2019)

อย่างไรก็ตาม Fuzzy AHP จัดเป็นวิธีการที่มีความสามารถในการตัดสินใจภายใต้ความไม่ชัดเจนและความไม่แน่นอนของปัจจัยได้คล้ายคลึงกับกระบวนการคิดของมนุษย์ ช่วยให้การตัดสินใจมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเทคนิคนี้มีขั้นตอนหลัก ได้แก่ การเปรียบเทียบแบบคู่ (Pairwise Comparison) การใช้ Fuzzy Set สำหรับการตัดสินใจกลุ่มและให้ค่าน้ำหนักหรือลำดับความสำคัญ การแปลง Fuzzy Set เป็นผลลัพธ์ (Defuzzification) เพื่อให้ได้ค่าที่ชัดเจนสำหรับการเปรียบเทียบขั้นสุดท้าย และการวัดความสอดคล้องของการตัดสินใจ (Yan & Xin, 2020) จากการศึกษาของ Dewi, Hanggara, & Pinandito (2018) พบว่า Fuzzy AHP เป็นเทคนิคที่มีค่าความถูกต้องสูงสุด โดยมีค่าประมาณ 66 – 67%

หากผู้เรียนมีเครื่องมือในการพิจารณาเกณฑ์และทางเลือกของการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาจะช่วยให้เกิดการตัดสินใจง่ายขึ้นและตรงกับความต้องการ และ AHP และ Fuzzy AHP เป็นกระบวนการในการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multi-criteria) ที่มีโครงสร้างซับซ้อน (Complex) ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะที่ต้องการของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน
ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

ในปัจจุบันยังไม่พบการนำเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP มาใช้ในระบบผู้แนะนำเพื่อพิจารณาในการศึกษาต่อระดับสูงกว่าปริญญาตรี จากปัญหาและแรงจูงใจดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้พัฒนางานวิจัย เรื่อง การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ เพื่อเป็นแนวทางช่วยในการตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยสำหรับผู้สนใจศึกษาต่อในระดับสูงกว่าปริญญาตรี โดยอาศัยระบบผู้แนะนำในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันมาช่วยประเมินทางเลือกในการตัดสินใจให้แก่ผู้ใช้งาน

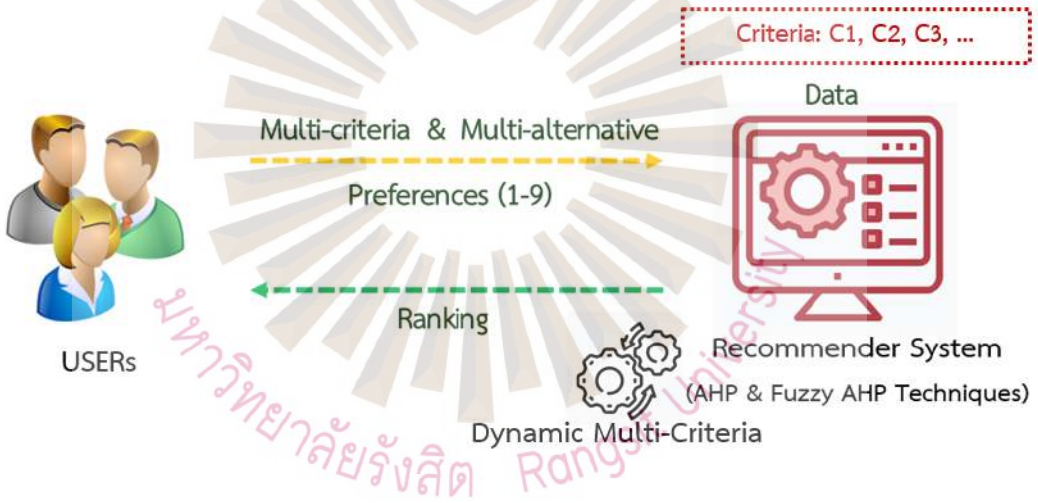
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP

1.2.2 เพื่อตอบสนองการเลือกเกณฑ์เฉพาะบุคคลของแต่ละผู้ใช้ในระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

1.3 คำถามของการวิจัย

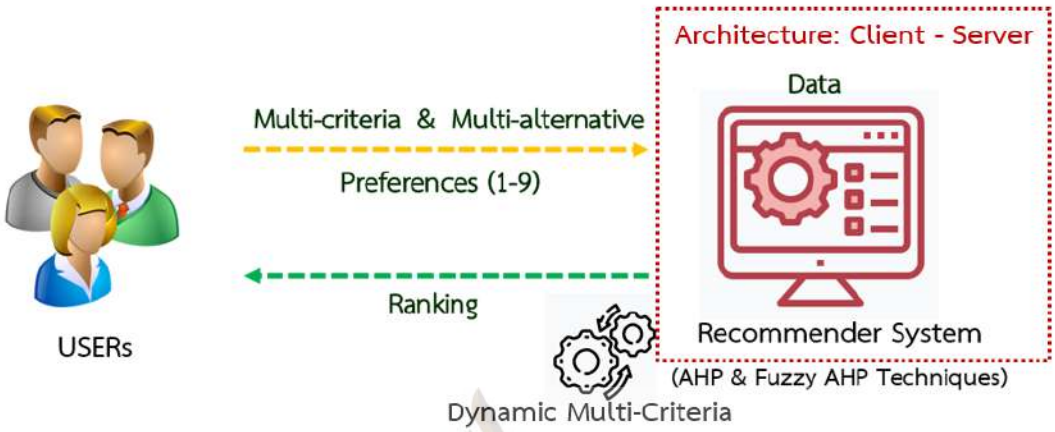
1.3.1 เกณฑ์การพิจารณาในการศึกษาต่อของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษามีอะไรบ้าง (Criteria)



รูปที่ 1.2 คำถามของการวิจัยด้านเกณฑ์การพิจารณาในการศึกษาต่อ (Criteria)

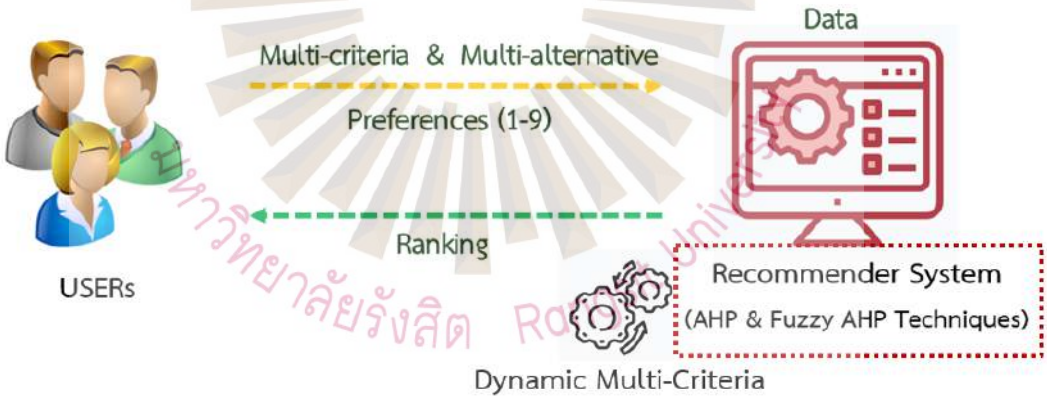
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

1.3.2 สถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาสามารถสร้างได้ด้วยการออกแบบอย่างไร (Architecture: Client - Server)



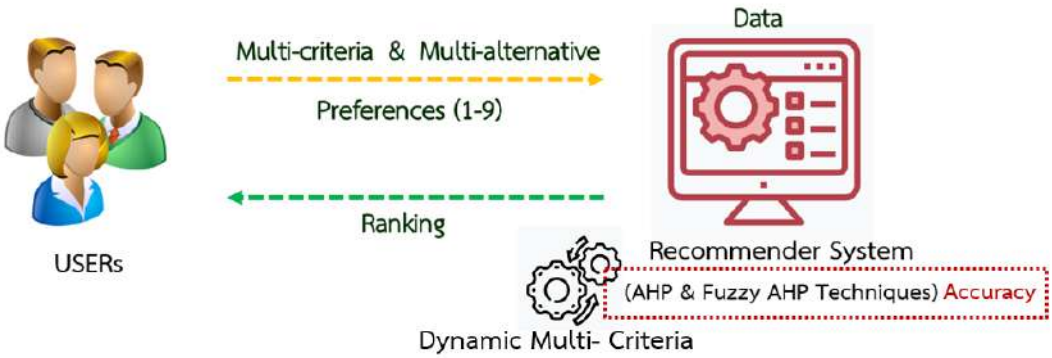
รูปที่ 1.3 คำถามของการวิจัยด้านสถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำ (Architecture: Client - Server)
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

1.3.3 เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP สามารถสนับสนุนระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาได้อย่างไร (AHP & Fuzzy AHP Techniques)



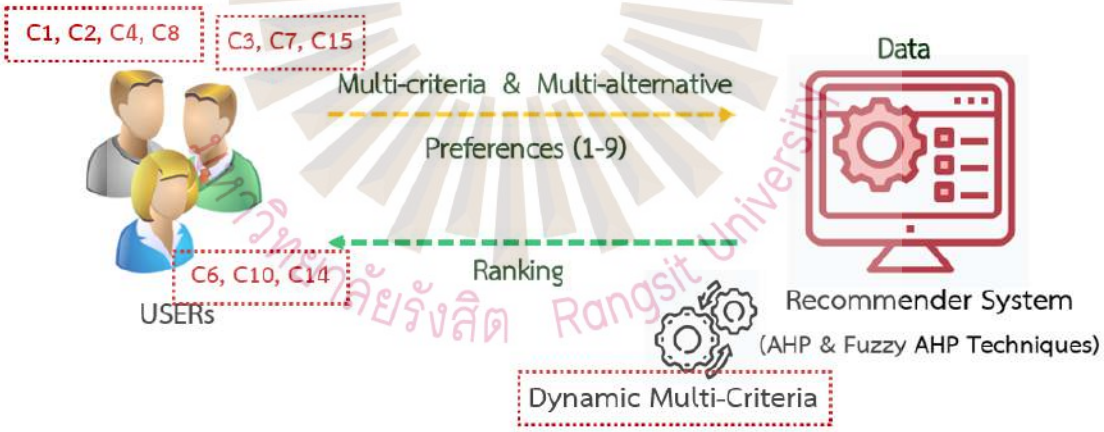
รูปที่ 1.4 คำถามของการวิจัยด้านเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP
ของระบบผู้แนะนำ (AHP & Fuzzy AHP Techniques)
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

1.3.4 ค่าความถูกต้องระหว่างเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP แตกต่างกันหรือไม่ (Accuracy)



รูปที่ 1.5 คำถามของการวิจัยด้านค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

1.3.5 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาที่มีการเลือกเกณฑ์ที่แตกต่างกันของผู้ใช้ควรมีโครงสร้างอย่างไร (Dynamic Multi-Criteria)



รูปที่ 1.6 คำถามของการวิจัยด้านสถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำ
ที่มีการเลือกเกณฑ์ที่แตกต่างกัน (Dynamic Multi-Criteria)
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

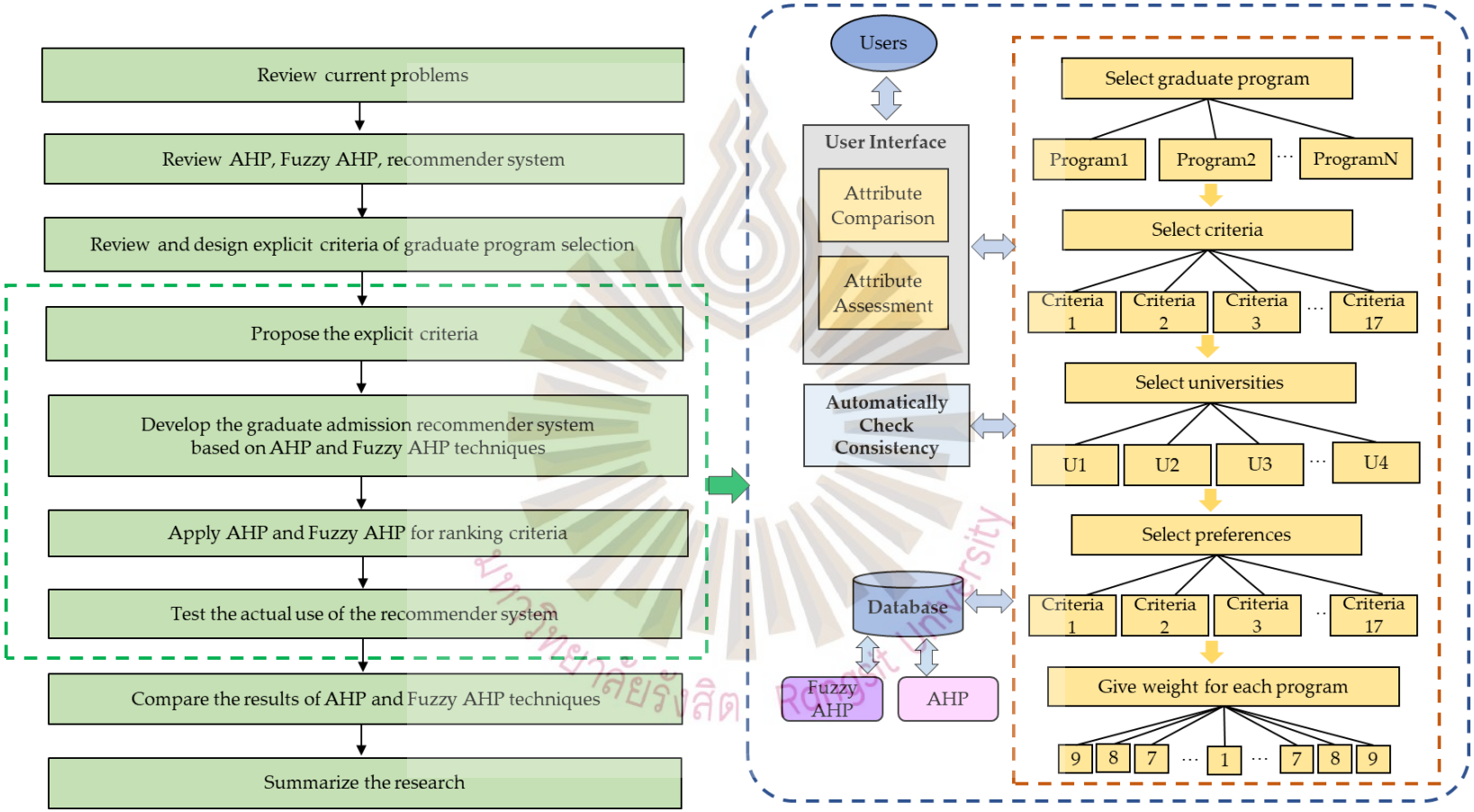
1.4 กรอบแนวคิดของการวิจัย

งานวิจัย เรื่อง การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ นำเสนอกรอบแนวคิดของการวิจัยเป็นแผนภาพ แสดงในรูปที่ 1.7

เริ่มจากการทบทวนปัญหา (Review Current Problems) การทบทวนงานวรรณกรรม AHP, Fuzzy AHP และระบบผู้แนะนำ (Review AHP, Fuzzy AHP, Recommender System) การทบทวนและออกแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา (Review and Design Explicit Criteria of Graduate Program Selection) การนำเสนอเกณฑ์ที่เลือกใช้ (Propose the Rxplicit Criteria) การพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP (Develop the Graduate Admission Recommender System Based on AHP and Fuzzy AHP techniques) การประยุกต์ใช้ AHP และ Fuzzy AHP ในการจัดอันดับเกณฑ์ (Apply AHP and Fuzzy AHP for Ranking Criteria) การทดสอบความถูกต้องของการใช้ระบบผู้แนะนำ (Test the Actual Use of the Recommender System) การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP และการสรุปผลการวิจัย (Summarize the Research)

ระบบผู้แนะนำประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้งาน (User Interface) ซึ่งมีหน้าที่ในการเปรียบเทียบคุณลักษณะ (Attribute Comparison) และการประเมินทางเลือกในการตัดสินใจ ส่วนตรวจสอบค่าความสอดคล้องแบบอัตโนมัติ (Automatically Check Consistency) และส่วนฐานข้อมูล (Database) โดยมีหน้าที่ในการจัดเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP

ทั้งนี้ ระบบผู้แนะนำมีขั้นตอนหลักในการทำงาน ได้แก่ การเลือกหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา (Select Graduate Program) การเลือกเกณฑ์ในการพิจารณา (Select Criteria) การเลือกมหาวิทยาลัย (Select Universities) การเลือกระดับความพึงพอใจ (Select Preferences) ตามเกณฑ์ในการพิจารณา และการให้ค่าน้ำหนักสำหรับแต่ละหลักสูตรที่เลือกในมหาวิทยาลัยนั้น (Give Weight for Each Program)



รูปที่ 1.7 กรอบแนวคิดของการวิจัย

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

1.5 นิยามศัพท์

การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making : MCDM) หมายถึง วิธีการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่นิยมนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสม โดยเป็นการนำทางเลือกที่ตรงตามหลักเกณฑ์ (Criteria) มาเรียงลำดับ เพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกสิ่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแก้ไขปัญหา

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process : AHP) หมายถึง หมายถึง กระบวนการสำหรับการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน มีหลายเกณฑ์และหลายทางเลือก โดยแบ่งองค์ประกอบของปัญหาทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมออกเป็นแต่ละส่วน สร้างรูปแบบโครงสร้างของปัญหาให้เป็นแบบลำดับชั้น และใช้ค่าคะแนนความสำคัญแบบหลายค่ามาพิจารณาเกณฑ์และทางเลือกตามความพึงพอใจ (Preferences) โดยเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison) เพื่อให้พิจารณาได้ง่าย แล้วจึงพิจารณาความสมเหตุสมผลของข้อมูลที่เปรียบเทียบจากค่าความสอดคล้อง (Consistency) โดยทางเลือกที่ดีที่สุดคือทางเลือกที่มีผลรวมของค่าคะแนนมากที่สุด

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ (Fuzzy Analytical Hierarchy Process : Fuzzy AHP) หมายถึง กระบวนการสำหรับการตัดสินใจที่มีโครงสร้างของปัญหาแบบลำดับชั้นและมีความไม่แน่นอน (Uncertain) โดยอาศัยทฤษฎี Fuzzy Set มาช่วยในการให้ค่าน้ำหนักหรือจัดลำดับความสำคัญในการพิจารณาทางเลือก เพื่อให้ได้ค่าที่ชัดเจน ภายหลังจากได้ค่าคะแนนความพึงพอใจโดยการเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison) ตามกระบวนการของ AHP

ระบบผู้แนะนำ (Recommender System) หมายถึง ระบบที่สามารถแนะนำข้อมูลผลิตภัณฑ์ หรือผู้คน ให้แก่ผู้ใช้งานโดยอ้างอิงจากสมมุติฐานการเรียนรู้ ข้อมูลความชอบ หรือความต้องการ ณ ขณะนั้นของผู้ใช้

หลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา (Graduate Programs) หมายถึง หลักสูตรการศึกษาในระดับที่สูงกว่าปริญญาตรีขึ้นไปของมหาวิทยาลัยที่สภามหาวิทยาลัยให้ความเห็นชอบ

ค่าคะแนนความพึงพอใจ (Preference) หมายถึง การใช้มาตราส่วนของระดับความสำคัญโดยแบ่งเป็น 9 ระดับ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทีละคู่ โดยจะช่วยให้ผู้เปรียบเทียบ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ความสัมพันธ์สามารถจำแนกระดับความสำคัญได้ชัดเจนขึ้น เริ่มตั้งแต่คะแนนความพึงพอใจเป็น 1 แสดงถึงทั้งสองปัจจัยมีความสำคัญที่เท่ากัน และตัวเลขคะแนนความพึงพอใจที่สูงขึ้นตั้งแต่ 2 – 9 ตัวเลขยิ่งมากแสดงจะถึงความสำคัญที่มากกว่าอีกปัจจัยที่เป็นคู่เทียบ

การเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) หมายถึง การวินิจฉัยเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยใช้ตารางเมตริกซ์ โดยผู้ทำการตัดสินใจจะให้ค่าคะแนนความพึงพอใจที่เท่ากัน มากกว่า หรือ น้อยกว่า คู่เทียบในระดับใดโดยการใช้ตัวเลขแทนค่า และนำตัวเลขที่ได้มาคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญในแต่ละชั้นจนครบทุกชั้น ทั้งในแถวแนวนอนและแนวตั้ง

ค่าความสอดคล้อง (Consistency) หมายถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล จากการคำนวณผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละเกณฑ์มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด หากผ่านเกณฑ์แสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบมีความสมเหตุสมผล

เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Multi-criteria) หมายถึง เกณฑ์ที่มีให้เลือกหลากหลาย และสามารถเลือกได้ไม่จำกัดจำนวนเกณฑ์ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานไม่ถูกจำกัดเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยในงานวิจัยฉบับนี้มีจำนวน 17 เกณฑ์

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย เรื่อง การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ ประกอบด้วย แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา
2.2 ระบบผู้แนะนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.3 ขั้นตอนการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน
2.4 การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์
2.5 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.6 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.7 เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาศึกษาต่อ

2.1 การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา

การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาเป็นการศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาหรือมหาวิทยาลัยที่สูงกว่าระดับปริญญาตรี ได้แก่ การศึกษาระดับปริญญาโทและระดับปริญญาเอก ซึ่งการศึกษาทั้งสองระดับดังกล่าวแตกต่างไปจากระดับปริญญาตรีในแง่ของการยกระดับองค์ความรู้เชิงวิชาการและเชิงวิชาชีพของผู้เรียนให้สูงขึ้น รู้ลึกและมีความเชี่ยวชาญมากยิ่งขึ้นผ่านกระบวนการศึกษาค้นคว้าองค์ความรู้อย่างเป็นระบบด้วยการวิจัย ดังที่ ชุติมา สัจจานันท์ (2554) กล่าวว่า การศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเป็นการศึกษาขั้นสูงที่มุ่งแสวงหาและสร้างสรรค์ความรู้ใหม่และการพัฒนาสมรรถนะด้านการวิจัยของผู้เรียนนั้นเอง

เกณฑ์มาตรฐานหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2548 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2548) กำหนดไว้ว่าการศึกษาระดับปริญญาโทมีทั้งแผน ก ซึ่งแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำ

วิทยานิพนธ์และแผน ข เน้นการศึกษางานรายวิชาโดยไม่ต้องทำวิทยานิพนธ์ ส่วนระดับปริญญาเอก เน้นการวิจัยเพื่อพัฒนานักวิชาการและนักวิชาชีพชั้นสูง แบบ 1 เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำวิทยานิพนธ์ที่ก่อให้เกิดความรู้ใหม่และอาจกำหนดให้เรียนรายวิชา เพิ่มเติมหรือทำกิจกรรมทางวิชาการอื่นเพิ่มขึ้นโดยไม่นับหน่วยกิต และแบบ 2 เป็นแผนการศึกษาที่เน้นการวิจัยโดยมีการทำวิทยานิพนธ์ที่มีคุณภาพสูงและก่อให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ

นอกจากนี้ยังกำหนดเกณฑ์การสำเร็จ การศึกษาสำหรับนักศึกษาระดับปริญญาโทที่ทำวิทยานิพนธ์ผลงานวิทยานิพนธ์จะต้องได้รับการตีพิมพ์ หรืออย่างน้อยดำเนินการให้ผลงานหรือส่วนหนึ่งของผลงานได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารหรือ สิ่งพิมพ์ทางวิชาการ หรือเสนอต่อที่ประชุมวิชาการที่มี รายงานการประชุม (Proceeding) ส่วนระดับปริญญาเอก ผลงานวิทยานิพนธ์จะต้องได้รับการตีพิมพ์ หรืออย่างน้อยดำเนินการให้ผลงานหรือส่วนหนึ่งของผลงานได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ทางวิชาการที่มีกรรมการภายนอกมาร่วมกลั่นกรอง (Peer Review) ก่อนการตีพิมพ์และเป็นที่ยอมรับในสาขาวิชานั้น

มาตรฐานการอุดมศึกษา (ราชกิจจานุเบกษา, 2549) มาตรฐานด้านพันธกิจของการบริหารการอุดมศึกษา มีการกำหนดตัวบ่งชี้ให้มีหลักสูตรและการเรียนการสอนที่ทันสมัยยืดหยุ่นสอดคล้องกับความต้องการที่หลากหลายของประเภท สถาบันและสังคมโดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาคุณภาพผู้เรียนแบบผู้เรียนเป็นสำคัญ เน้นการเรียนรู้ และการสร้างงานด้วยตนเองตามสภาพจริงใช้การวิจัย เป็นฐานมีการประเมินและใช้ผลการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียนและการบริหารจัดการหลักสูตร ตลอดจนมีการบริหารกิจการนิสิตนักศึกษาที่เหมาะสมสอดคล้องกับหลักสูตรและการเรียนการสอน ที่สำคัญได้กำหนดให้การวิจัยเพื่อสร้างและประยุกต์ใช้องค์ความรู้ใหม่ที่เป็นการขยายพรมแดนความรู้และทรัพย์สินทางปัญญาที่เชื่อมโยงกับสภาพเศรษฐกิจสังคมวัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อมตามศักยภาพของประเภทสถาบัน มีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างสถาบันอุดมศึกษา ทั้งในและต่างประเทศเพื่อพัฒนาความสามารถในการแข่งขันได้ในระดับนานาชาติของสังคมและประเทศชาติ

มาตรฐานสถาบันอุดมศึกษา (ราชกิจจานุเบกษา, 2554) ประกอบด้วยมาตรฐาน 2 ด้าน คือ มาตรฐานด้านศักยภาพและความพร้อมในการจัดการศึกษาและมาตรฐานด้านการดำเนินการตามภารกิจของสถาบันอุดมศึกษา โดยมาตรฐานด้านการดำเนินงาน ตามภารกิจของสถาบันอุดมศึกษาประกอบด้วย มาตรฐานย่อย 4 ด้าน คือด้านการผลิตบัณฑิต ด้านการวิจัย ด้านการให้บริการทาง

วิชาการแก่สังคม และด้านการทำนุบำรุงศิลปะและวัฒนธรรม ในด้านการวิจัยนั้นเน้น การบริหารจัดการเพื่อส่งเสริมคณาจารย์นักวิจัย และบุคลากรใช้สมรรถนะในการทำวิจัย ส่งเสริมและ สร้างเครือข่ายการทำวิจัยกับหน่วยงานภายนอกสถาบัน เพื่อให้ได้ผลงานวิจัย ผลงานประดิษฐ์และงานริเริ่ม สร้างสรรค์ที่มีคุณภาพมีประโยชน์สนองยุทธศาสตร์ การพัฒนาประเทศ สามารถตอบสนองความต้องการ ของสังคมได้ในวงกว้างและก่อให้เกิดประโยชน์แก่ สาธารณชน

เพื่อให้การศึกษาระดับบัณฑิตศึกษามีคุณภาพและได้มาตรฐาน สถาบันอุดมศึกษาหรือมหาวิทยาลัยที่จัดการเรียนการสอนในระดับบัณฑิตศึกษาจะมีการกำหนดหลักเกณฑ์หรือข้อบังคับว่าด้วยการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาไว้อย่างชัดเจน ซึ่งโดยทั่วไปข้อบังคับดังกล่าวจะประกอบด้วย หมวดต่างๆที่สำคัญ อาทิ หมวดการจัดการศึกษา แบ่งเป็น ระบบการศึกษา ระยะเวลาการศึกษา ภาษาที่ใช้ในการศึกษา หมวดหลักสูตร แบ่งเป็น หลักสูตรที่เปิดสอน โครงสร้างหลักสูตร หมวดการรับเข้าศึกษา แบ่งเป็น คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา หลักเกณฑ์และวิธีการรับเข้าศึกษา ประเภทของผู้เข้าศึกษา หมวดการลงทะเบียน แบ่งเป็น การลงทะเบียนแรกเข้า การลงทะเบียนเรียน การยกเว้นรายวิชา การเพิ่ม ลด หรือถอนรายวิชา การลงทะเบียนซ้ำ หมวดการสอนและการสอบ แบ่งเป็น การสอน การสอบรายวิชา การสอบประมวลความรู้ การวัดคุณสมบัติ การสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ การสอบวิทยานิพนธ์และการสอบการค้นคว้าอิสระ กรณีนิสิตทำผิดเกี่ยวกับการศึกษา หมวดการประเมินผลการศึกษา แบ่งเป็น ระดับการประเมิน หลักเกณฑ์การให้สัญลักษณ์ผลการศึกษา การคำนวณแต้มเฉลี่ย หมวดการเปลี่ยนสถานภาพการศึกษา แบ่งเป็น หลักสูตรแบบต่อเนื่อง การเปลี่ยนสาขาวิชา การเปลี่ยนแผนการศึกษา หมวดการลาพักการศึกษา หมวดการพ้นและการคืนสภาพนิสิต หมวดการสำเร็จการศึกษา และบทเฉพาะกาล (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561)

กล่าวได้ว่าจุดมุ่งหมายสำคัญของการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คือ การมุ่งยกระดับความรู้ความสามารถของผู้เรียนให้สูงขึ้นผ่านการจัดการเรียนการสอนที่ได้มาตรฐาน มีความเข้มข้นในเชิงวิชาการ และที่สำคัญมีการกำหนดให้การเรียนรู้ต้องผ่านกระบวนการแสวงหาความรู้ใหม่อย่างเป็นระบบด้วยการทำวิทยานิพนธ์ หรือการค้นคว้าอิสระ และแม้การศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาจะกำหนดให้ผู้เรียนได้เรียนรู้รายวิชาต่างๆ คล้ายกับการศึกษาในระดับปริญญาตรี แต่จุดมุ่งหมายของการจัดการเรียนการสอนก็เพื่อให้ผู้เรียนได้เตรียมความพร้อมทางวิชาการสำหรับการทำวิจัยเป็นสำคัญ

2.2 ระบบผู้แนะนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบผู้แนะนำ (Recommender System) ได้ถูกพูดถึงอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการเติบโตของปริมาณข้อมูลออนไลน์ ระบบผู้แนะนำจึงกลายเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาภาวะท่วมท้นของสารสนเทศ (Information Overload) โดยระบบจะช่วยเสนอทางเลือกในการตัดสินใจที่ท้าทายให้แก่ผู้ใช้งาน ปัจจุบันมีระบบผู้แนะนำในรูปแบบที่หลากหลายทั้งในด้านเทคนิคการประมวลผลและการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ (Fayyaz, Ebrahimian, Nawara, Ibrahim, & Kashef, 2020)

2.2.1 ความหมายของระบบผู้แนะนำ

ระบบผู้แนะนำ คือ โปรแกรมเฉพาะที่ออกแบบขึ้นเพื่อแนะนำกิจกรรมถัดไปสำหรับผู้ใช้ โดยอาศัยความหลากหลายของปัจจัยต่างๆ เช่น ความสนใจหรือความชื่นชอบของผู้ใช้และประวัติของผู้ใช้ อาจกล่าวได้ว่าระบบผู้แนะนำช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตัดสินใจเลือกสิ่งต่างๆ ตามสิ่งที่ผู้ใช้สนใจ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบผู้แนะนำในด้านต่างๆ อาทิ การแพทย์ ภาพยนตร์ ดนตรี การค้าอิเล็กทรอนิกส์ รายการโทรทัศน์ การท่องเที่ยว และด้านการศึกษา เพื่อเป็นการเติมเต็มความต้องการของผู้ใช้งาน (Lynn & Emanuel, 2020)

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Urdaneta, Mendez & Oleagordia (2021) ได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องในการนำระบบผู้แนะนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษา ระหว่างปี 2015 – 2020 โดยจำแนกประเด็นในการแนะนำเป็นประเภทต่างๆ พบว่าประเด็นที่มากที่สุดได้แก่ การแนะนำด้านทรัพยากรการเรียนรู้ (Learning Resources) รองลงมาคือการแนะนำด้านหลักสูตรการเรียนการสอน (Courses) ดังตารางที่ 2.1

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตารางที่ 2.1 แสดงร้อยละของบทความจำแนกตามประเด็นการแนะนำ

Recommendation's Elements	Number of Articles	% of Articles
Academic advice	4	4.08
Courses	33	33.67
Educational program	2	33.67
Elective degree courses	5	5.1
Learning resources	37	37.76
Multi-objective exam	1	1.02
Online learning	3	3.06
Papers	1	1.02
Pedagogical resources	1	1.02
Postgraduate courses	2	2.04
Professions	1	1.02
Programming problems	1	1.02
Study sequence / syllabuses	5	5.1
Teaching practice resources	1	1.02
Universities	1	1.02

ที่มา: Urdaneta et al., 2021

Prasanna & Haritha (2019) ได้พัฒนาระบบผู้แนะนำในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยระบบสามารถช่วยค้นหาหลักสูตรทางด้าน CSE/IT ที่เหมาะสมกับนักศึกษาในอนาคต โดยพิจารณาจากรายละเอียดต่างๆ และความถนัดของนักศึกษา รวมถึงคาดการณ์การเลือกฝึกปฏิบัติภาคสนามที่เป็นไปได้ โดยพิจารณาจากผลการศึกษาและความสนใจ ทั้งนี้ เนื่องจากการเลือกความเชี่ยวชาญเฉพาะในด้าน CSE/IT มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานในอนาคตของนักศึกษา หากมีการตัดสินใจที่พลาดอาจจะส่งผลให้การทำงานในอนาคตนั้นไม่สอดคล้องกับ ความถนัด ความสามารถ และความสนใจส่วนตัวของนักศึกษา โดยระบบผู้แนะนำแนวทางความก้าวหน้าอัจฉริยะ (Smart Career Guidance Recommendation System) ที่พัฒนาขึ้นนั้นเพื่อช่วยแนะนำหลักสูตรฝึกทักษะและหลักสูตรประกาศนียบัตรในด้าน CSE/IT และมีการทำนายประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาและการสำเร็จการอบรมในหลักสูตร

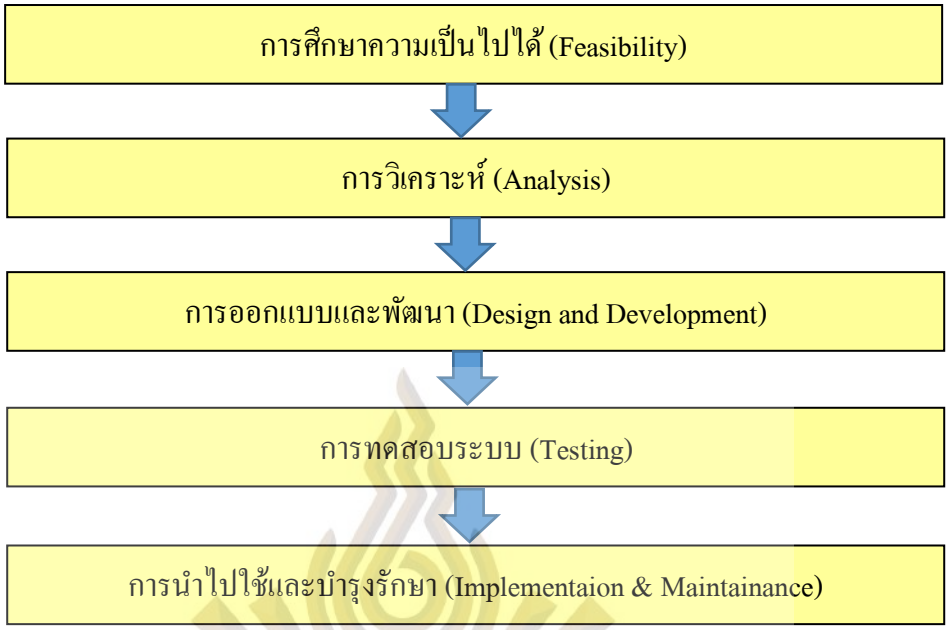
นอกจากนี้ ยังมีการประยุกต์ใช้ระบบผู้แนะนำเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้เรียนในการพิจารณารายวิชาเลือก (Elective Course) ในหลักสูตรของมหาวิทยาลัย เนื่องจากจำนวนรายวิชามีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องสนับสนุนผู้เรียนให้สามารถเลือกรายวิชาที่สอดคล้องกับโครงสร้างหลักสูตร เป้าหมายรายบุคคล ความสนใจ และความรู้ในปัจจุบันของผู้เรียน ในส่วนผู้เรียนในระดับที่สูงกว่าปริญญาตรีจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสามารถของรายวิชาในการผลักดันให้เกิดความก้าวหน้าในสายอาชีพ ตารางการเรียน การให้คำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษาและเพื่อนร่วมชั้นที่มีความสนใจคล้ายกัน เพื่อให้รายวิชาที่เลือกเรียนสามารถตอบสนองความต้องการของผู้เรียนได้มากที่สุด (Badarneh & Alsakran, 2016)

โดยสรุปแล้ว การประยุกต์ใช้ระบบผู้แนะนำในด้านการศึกษามีหลากหลาย ตั้งแต่การเลือกรายวิชา ชุดวิชา หลักสูตร และมหาวิทยาลัยให้แก่ผู้เรียน ทั้งนี้ เนื่องจากการแพร่หลายของอินเทอร์เน็ตทำให้ผู้เรียนส่วนใหญ่มีโอกาสใช้งานอยู่เป็นประจำ โดยระบบผู้แนะนำสามารถทำนายความต้องการของผู้เรียน รวมถึงสามารถแนะนำหลักสูตรและบริการต่างๆ ของมหาวิทยาลัยที่ผู้เรียนสนใจ จึงเป็นการช่วยลดปัญหาภาวะการท่วมท้นของสารสนเทศ โดยการประเมินสิ่งที่เกี่ยวข้องกับความต้องการและให้ผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนมีโอกาสในการค้นหาหลักสูตรหรือบริการต่างๆ ได้ตรงตามความต้องการ รวมถึงสถาบันการศึกษาสามารถเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขัน โดยสามารถเข้าใจถึงความต้องการของลูกค้า และลดการสูญเสียลูกค้าจากความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น ตลอดจนสามารถจัดหาคุณค่าเพิ่มที่สำคัญต่อลูกค้า จากข้อมูลย้อนกลับที่มีต่อหลักสูตรและบริการต่างๆ ได้มากยิ่งขึ้น (Nalawade & Tiple, 2020)

2.3 ขั้นตอนการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

ปัจจุบันเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยเว็บแอปพลิเคชันมีการทำงานในรูปแบบของไคลเอนต์/เซิร์ฟเวอร์(Client/Server) ทำให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้งานเว็บแอปพลิเคชันผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ได้ทันที

Ashim (2018) ได้ทำการศึกษาวงจรชีวิตการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle) และเสนอแนวทางการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในรูปแบบวงจรชีวิตการพัฒนาเว็บ (Web Development Life Cycle) ไว้ 6 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรชีวิตการพัฒนาเว็บ (Web Development Life Cycle)

ที่มา: Ashim, 2018

1) การศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility) เป็นขั้นตอนแรกของการวางแผนโดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์ของเว็บ กลุ่มเป้าหมาย เว็บเทคโนโลยีที่จะใช้ ผู้ที่เกี่ยวข้องกับเว็บ และประเภทของข้อมูลที่แสดงบนเว็บ

2) การวิเคราะห์ (Analysis) เป็นการกำหนดฟังก์ชันพื้นฐานที่จำเป็นตามความต้องการและการระบุงานที่จะเกิดขึ้นจากฟังก์ชันทั้งหมด

3) การออกแบบและพัฒนา (Design and Development) เป็นการออกแบบรายละเอียดของเว็บโดยใช้แผนภาพทั้งในด้านตรรกะและกายภาพที่นำไปสู่การพัฒนาเว็บ อาทิ รูปแบบของข้อมูล กระบวนการทำงาน เป็นต้น ตลอดจนทำการเขียนโปรแกรมตามเอกสารการออกแบบ

4) การทดสอบระบบ (Testing) เป็นการทดสอบการทำงานของเว็บ โดยพิจารณาจากประเด็นต่างๆ อาทิ ความถูกต้องของข้อมูล การทำงานของจุดเชื่อมโยง (link) ความเร็วของเว็บ การทำงานของฟังก์ชันทั้งหมดที่มี และการจัดวางของเว็บ เป็นต้น

5) การนำไปใช้และบำรุงรักษา (Implementaion & Maintainance) เป็นการเผยแพร่เว็บให้สามารถทำงานได้จริง การปรับปรุงเนื้อหาให้ทันสมัย การตรวจสอบสิทธิ์การเข้าใช้งาน การติดตามการทำงานของเว็บ เป็นต้น ตลอดจนมีการปรับปรุงข้อมูลให้มีความถูกต้องและมีคุณภาพ

2.4 การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

2.4.1 ความหมายของการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making) หรือ MCDM หมายถึง วิธีการที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่นิยมนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสม โดยเป็นการนำทางเลือกที่ตรงตามหลักเกณฑ์ (Criteria) มาเรียงลำดับ เพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกสิ่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแก้ไขปัญหา

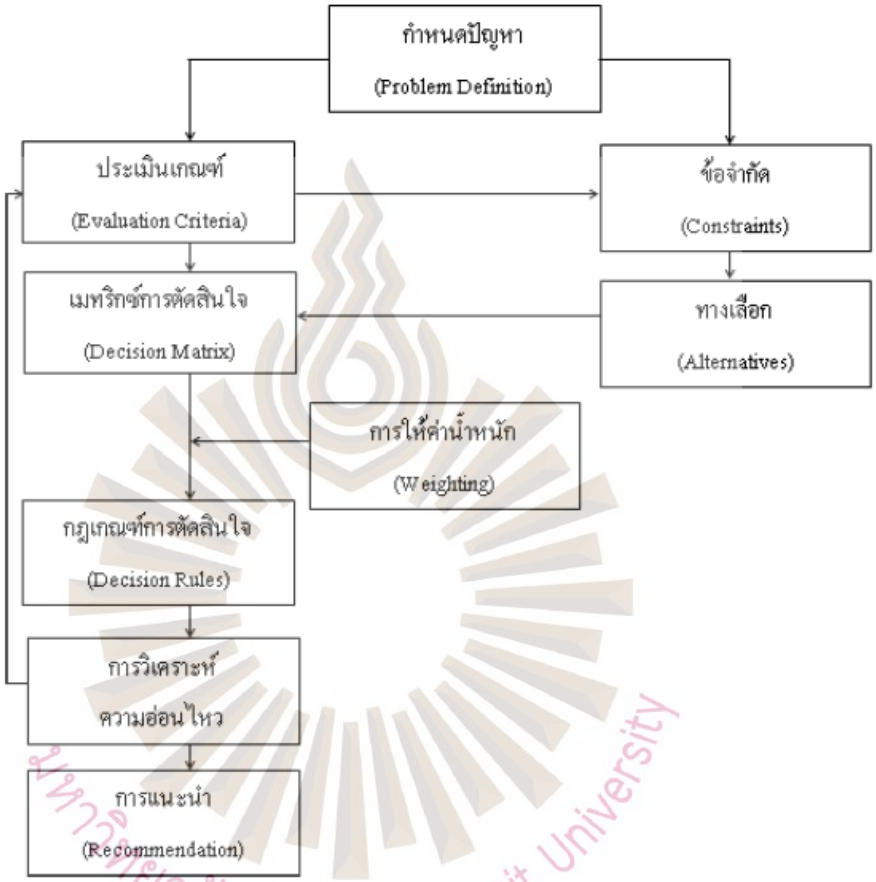
2.4.2 ความสำคัญของการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Making) เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนกระบวนการการตัดสินใจที่มีความไม่แน่นอน (Uncertain) และมีหลายตัวแปรหรือหลายเกณฑ์ในการตัดสินใจ (Zavadskas, Antucheviciene & Chatterjee, 2019)โดยมีการนำ MCDM ไปใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ อาทิ การประเมินประสิทธิภาพ การบริหารทรัพยากร นโยบายและกลยุทธ์ขององค์กร นโยบายสาธารณะ การวางแผนและกลยุทธ์ทางการเมือง เป็นต้น โดย MCDM จะทำหน้าที่ช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ แต่ไม่ได้ทำหน้าที่แทนผู้ตัดสินใจ หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นการช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการตัดสินใจให้ดียิ่งขึ้น (Runtuwene, Tangkawarow & Parinsi, 2018)

2.4.3 กรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

MCDM เป็นวิธีการหนึ่งในการแก้ไขปัญหาที่นิยมนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสม โดยพิจารณานำเกณฑ์ (Criteria) มาเรียงลำดับ เพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกสิ่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการแก้ไขปัญหา โดยมีขั้นตอนตั้งแต่การกำหนดปัญหาจนถึงการเสนอทางเลือก เริ่มจากการกำหนดปัญหาหรือการระบุปัญหา เพื่อให้ทราบข้อมูลพื้นฐานของปัญหา ได้แก่ สาเหตุที่ต้องมีการตัดสินใจ ระดับของการตัดสินใจ ตลอดจนสภาพแวดล้อมของปัญหา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปสู่การเลือกข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ หรือเกณฑ์ที่นำมาใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลต่างๆ ไปสร้างตารางเมทริกซ์ของการตัดสินใจ ซึ่งข้อมูลหรือเกณฑ์ต่างๆ ที่นำไปใช้นั้นมีความสำคัญไม่เท่ากัน จึงจำเป็นต้องมีการให้ค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์ก่อนนำไป

วิเคราะห์ทางเลือก ทั้งนี้ บางครั้งข้อมูลที่ได้อาจมีความทันสมัยไม่เพียงพอ หรือมีหน่วยวัดที่แตกต่างกัน หรือช่วงเวลาของข้อมูลแตกต่างกัน จึงอาจส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้ในแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน ซึ่งถือว่าเป็นความอ่อนไหวที่เกิดจากข้อมูล ทำให้ต้องกลับไปพิจารณาข้อมูลที่นำไปใช้ใหม่อีกครั้ง จึงจะนำทางเลือกที่เหมาะสมซึ่งวิเคราะห์ได้ไปใช้ในการตัดสินใจ ดังรูปที่ 2.2

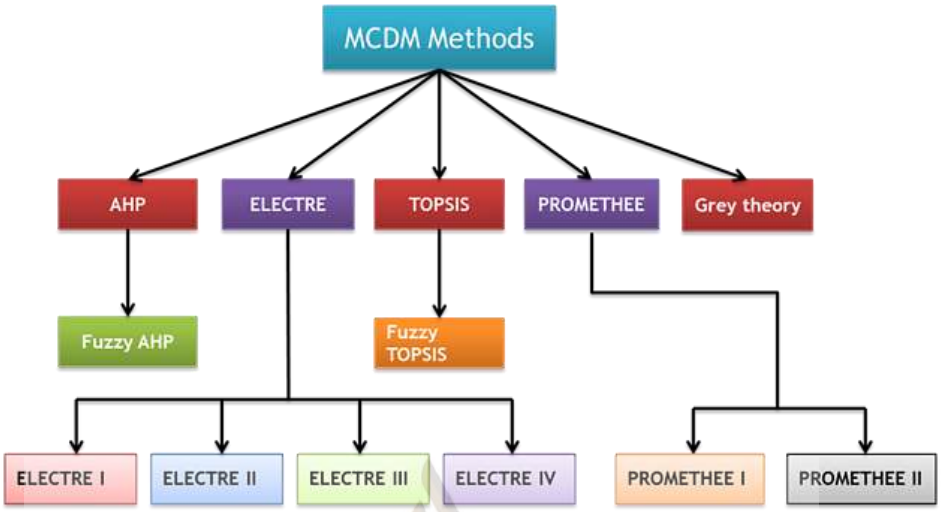


รูปที่ 2.2 แสดงกรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

ที่มา: อภิรดี สรวิสูตร, 2559

2.4.4 วิธีการของการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

MCDM มีหลายวิธีการ ยกตัวอย่างเช่น Analytic Hierarchy Process (AHP) Fuzzy Analytic Hierarchy Process (Fuzzy AHP) Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE) Technique of Order Preference by Similarity of Ideal Solution (TOPSIS) และ Preference Ranking Organization Methods for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) และ Grey Theory เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างวิธีการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

ที่มา: Aruldoss, Lakshmi & Venkatesan, 2013

2.4.5 ข้อดีข้อเสียของวิธีการในการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์

การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์แต่ละวิธีการ มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อดีและข้อเสียของตัวอย่างวิธีการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (MCDM)

MCDM methods	ข้อดี (Advantages)	ข้อเสีย (Disadvantages)
Analytic Hierarchy Process (AHP)	ง่ายต่อการใช้งาน สามารถทำให้เป็นโครงสร้างลำดับชั้น และใช้การคำนวณของแต่ละเกณฑ์เป็นหลัก	หากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่อาจใช้จำนวนคู่สูงในการเปรียบเทียบ
Elimination and choice translating reality (ELECTRE)	สามารถรองรับข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนและมีความคลุมเครือ	ใช้อัลกอริทึมที่ค่อนข้างซับซ้อน
Technique of order preference by similarity of ideal solution (TOPSIS)	มีกระบวนการคำนวณอย่างง่าย	ไม่พิจารณาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะหรือเกณฑ์ในการตัดสินใจ
Preference ranking organization methods for enrichment evaluation (PROMETHEE)	มีประโยชน์ต่อทางเลือกที่รวมกันได้ยาก ใช้ได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณที่มีความไม่แน่นอนและคลุมเครือ	การให้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ไม่ชัดเจน และใช้การคำนวณที่ซับซ้อนปานกลาง

ที่มา: Katarina, Zoran, Igor, Cedomir and Miloš, 2021

โดยสรุปอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการ AHP สามารถนำมาใช้พิจารณาเกณฑ์ต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณได้ง่ายและยืดหยุ่น สามารถนำมาปรับใช้กับปัญหาที่มีหลายเกณฑ์และหลายทางเลือกที่ซับซ้อนโดยปรับให้เป็นโครงสร้างแบบลำดับขั้น มีการเปรียบเทียบทางเลือกที่หลากหลายทีละคู่จากเกณฑ์ที่แตกต่างกันทำให้ไม่เกิดอคติในการตัดสินใจ ส่งผลให้ AHP ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางมากขึ้น

จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่า Fuzzy AHP เป็นวิธีการที่ต่อยอดมาจาก AHP โดยมีโครงสร้างในรูปแบบลำดับชั้น ใช้การเปรียบเทียบความสำคัญทีละคู่ และพิจารณาความสมเหตุสมผล แต่ Fuzzy AHP จะสามารถพิจารณาข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน (Uncertain)

2.5 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process) หรือ AHP เป็นเทคนิควิธีการหนึ่งของ MCDM พัฒนาขึ้นโดย Thomas. L Saaty ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญ โดยมีกรอบแนวคิดในการทำงานเพื่อช่วยแก้ปัญหาที่ซับซ้อนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ด้วยวิธีการจัดเรียงตัวแปรในรูปแบบลำดับชั้น มีการกำหนดค่าตัวเลขลำดับความสำคัญของแต่ละตัวแปร หากตัวแปรใดที่มีค่าความสำคัญสูงสุดจะมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ในการตัดสินใจ (Runtuwene, Tangkawarow & Parinsi, 2018)

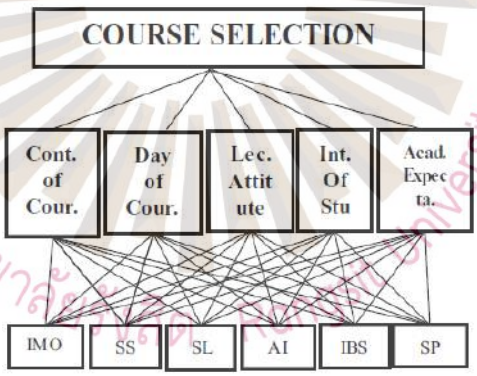
2.5.1 ความหมายของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

AHP หมายถึง กระบวนการสำหรับการตัดสินใจที่มีความซับซ้อน มีหลายเกณฑ์และหลายทางเลือก โดยแบ่งองค์ประกอบของปัญหาทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรมออกเป็นแต่ละส่วน สร้างรูปแบบโครงสร้างของปัญหาให้เป็นแบบลำดับชั้น และใช้ค่าคะแนนความสำคัญแบบหลายค่ามาพิจารณาเกณฑ์และทางเลือกตามความพึงพอใจ (Preferences) โดยเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison) เพื่อให้พิจารณาได้ง่าย แล้วจึงพิจารณาความสมเหตุสมผลของข้อมูลที่เปรียบเทียบจากค่าความสอดคล้อง (Consistency) โดยทางเลือกที่ดีที่สุดคือทางเลือกที่มีผลรวมของค่าคะแนนมากที่สุด

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ AHP

Anis & Islam (2015) ได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการนำ AHP มาประยุกต์ในสถาบันการศึกษาในด้านต่างๆ ได้แก่ การจัดหาห้องสมุดของมหาวิทยาลัย การประเมินคณะวิชา การวางแผนกลยุทธ์ทางการตลาด การวัดประสิทธิภาพการทำงาน การประเมินคุณภาพการศึกษา การให้รางวัลด้านวิจัย การจัดสรรทรัพยากร การเลือกสาขาวิชาในมหาวิทยาลัย การวางแผนกลยุทธ์ การจัดการคุณภาพ การจัดซื้อจัดจ้างของมหาวิทยาลัย การจัดอันดับมหาวิทยาลัย และการตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัย

Bedir, Özder & Eren (2016) ได้นำ AHP มาใช้ในการเลือกรายวิชาระดับบัณฑิตศึกษาในคณะวิศวกรรมอุตสาหการ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากการสำรวจ ได้แก่ เนื้อหาของรายวิชา วันเรียน ความสนใจของนักศึกษา ทัศคติของผู้สอน และความคาดหวังในด้านวิชาการ โดยมีการให้ค่าน้ำหนักแก่เกณฑ์ต่างๆ เพื่อประเมินทางเลือกของรายวิชาจำนวน 6 รายวิชา ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างการเลือกรายวิชาด้วยเทคนิค AHP
ที่มา: Bedir , Özder & Eren, 2016

2.5.3 แนวคิดการทำงานเบื้องต้นของ AHP

AHP มีการนำค่าคะแนนความสำคัญแบบหลายค่าดังตารางที่ 2.3 มาพิจารณาเกณฑ์และทางเลือกตามความพึงพอใจของผู้ใช้ด้วยการเปรียบเทียบทีละคู่ และพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูล เพื่อพิจารณาค่าน้ำหนักของแต่ละทางเลือก

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวเลขและระดับความสำคัญ 9 ระดับ

ตัวเลข	ระดับความสำคัญ
1	ความสำคัญเท่ากัน
2	ความสำคัญเท่ากันถึงปานกลาง
3	ความสำคัญปานกลาง
4	ความสำคัญปานกลางถึงค่อนข้างมาก
5	ความสำคัญค่อนข้างมาก
6	ความสำคัญค่อนข้างมากถึงมากกว่า
7	ความสำคัญมากกว่า
8	ความสำคัญมากกว่าถึงมากที่สุด
9	ความสำคัญมากที่สุด

ที่มา: Saaty, 2008

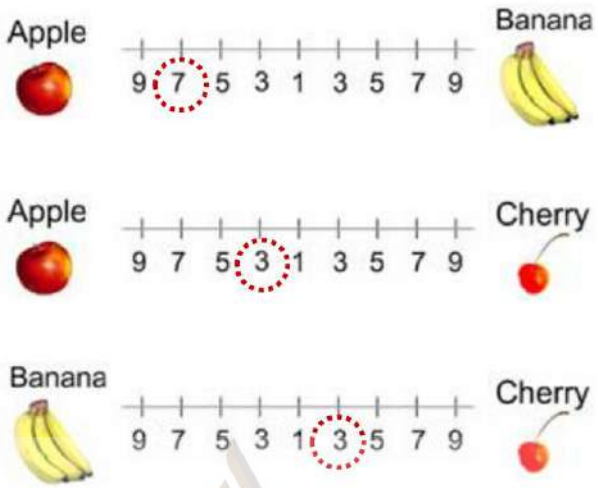
จากตัวเลขและระดับความสำคัญในตารางที่ 2.3 สามารถนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการให้ค่าคะแนนความพึงพอใจ (Preferences) ต่อการรับประทานแอปเปิ้ล กล้วย และ เชอร์รี่ โดยการเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison) จำนวน 3 คู่ จากการคำนวณหาจำนวนคู่ในรูปที่ 2.5

Number of things	1	2	3	4	5	6	7	n
number of comparisons	0	1	3	6	10	15	21	$\frac{n(n-1)}{2}$

รูปที่ 2.5 แสดงวิธีการคำนวณหาจำนวนคู่ในการเปรียบเทียบทีละคู่

ที่มา: Teknomo, 2006

ทั้งนี้ ผู้ให้คะแนนมีความพึงพอใจแอปเปิ้ลมากกว่ากล้วยในระดับมาก มีความพึงพอใจแอปเปิ้ลมากกว่าเชอรี่ในระดับปานกลาง และมีความพึงพอใจเชอร์รี่มากกว่ากล้วยในระดับปานกลาง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างในการให้ค่าคะแนนความพึงพอใจต่อแอปเปิ้ล กล้วย และ เชอรี่

ที่มา: Teknomo, 2006

จากรูปที่ 2.6 หากต้องการพิจารณาว่าการให้คะแนนความพึงพอใจดังกล่าวมีความสมเหตุสมผลหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากความสอดคล้อง (Consistency) ของคะแนน โดยพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการรับประทาน ดังนี้

ระดับความพึงพอใจ แอปเปิ้ล > กล้วย

แอปเปิ้ล > เชอร์รี่

เชอร์รี่ > กล้วย

ดังนั้น แสดงว่า ระดับความพึงพอใจต่อผลไม้ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ล > เชอร์รี่ > กล้วย ซึ่งมีความสอดคล้องกัน จึงถือว่ามีความสมเหตุสมผล ดังรูปที่ 2.7

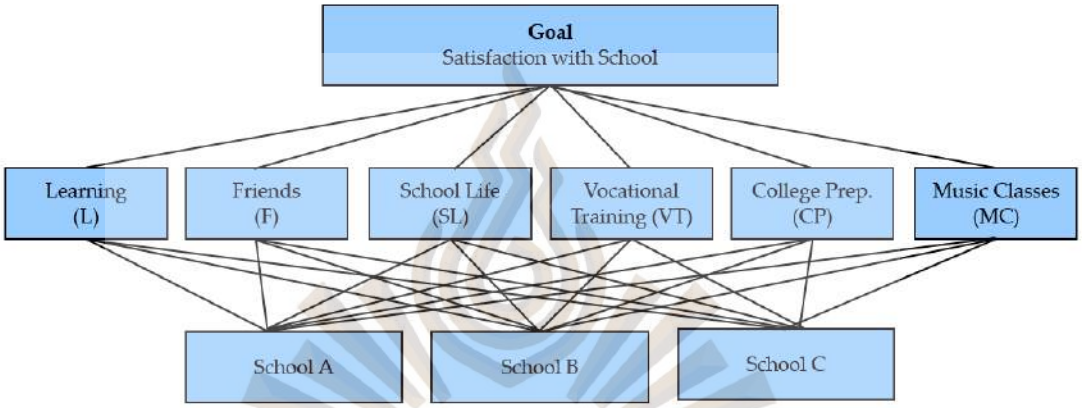
รูปที่ 2.7 แสดงการตรวจสอบกรณีข้อมูลมีความสอดคล้องกัน

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

2.5.4 ตัวอย่างขั้นตอนการทำงานของ AHP

Saaty (1970) ได้ยกตัวอย่างการเลือกโรงเรียนมัธยม โดยมีขั้นตอนการทำงานตามกระบวนการ AHP ดังนี้

1) การสร้างให้เป็นโครงสร้างลำดับชั้น (Construct hierarchy structure) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การสร้างให้เป็นโครงสร้างลำดับชั้น

ที่มา: Saaty, 1970

2) การเปรียบเทียบรายคู่ของเกณฑ์/ทางเลือก (Pairwise Comparison Among Criteria/Alternatives) ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.9

ตัวอย่างการเปรียบเทียบรายคู่ของเกณฑ์ Learning และ Friends

Left criteria	Left criteria is more important than right criteria								Equal	Right criteria is more important than left criteria								Right criteria
Learning (L)	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Friends (F)

ตัวอย่างการเปรียบเทียบรายคู่ของทางเลือก School A และ School C ในเกณฑ์ Learning

Left criteria	Left criteria is more important than right criteria								Equal	Right criteria is more important than left criteria								Right criteria
School A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	School C

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการเปรียบเทียบรายคู่ของเกณฑ์/ทางเลือก

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3) การแปลงคะแนนให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์ (Transform into matrix form) โดยแปลงคะแนนจากการเปรียบเทียบรายคู่ของเกณฑ์ Learning และ Friends ในรูปที่ 2.10 มาใส่ในตารางเมตริกซ์ได้เป็น 4 และ 1/4 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.10 และนำค่าคะแนนการเปรียบเทียบรายคู่ของทางเลือก School A และ School C ในเกณฑ์ Learning ในรูปที่ 2.9 มาเขียนให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์ ดังรูปที่ 2.11

จากนั้นคำนวณค่าน้ำหนัก (Weights) และค่าความสำคัญ (Priorities) ในแต่ละแถวทำได้โดย 1) หาผลรวมของแต่ละคอลัมน์ 2) หาผลรวมของผลหารระหว่างสมาชิกแต่ละตัวกับผลรวมในแนวตั้ง และ 3) หาค่าเฉลี่ยของข้อ 2)

	L	F	SL	VT	CP	MC	Weights
Learning	1	4	3	1	3	4	.32
Friends	1/4	1	7	3	1/5	1	.14
School Life	1/3	1/7	1	1/5	1/5	1/6	.03
Vocational Trng.	1	1/3	5	1	1	1/3	.13
College Prep.	1/3	5	5	1	1	3	.24
Music Classes	1/4	1	6	3	1/3	1	.14

รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการแปลงคะแนนของเกณฑ์ให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์

ที่มา: Saaty, 1970

	Learning A	B	C	Priorities
A	1	1/3	1/2	.16
B	3	1	3	.59
C	2	1/3	1	.25

	Friends A	B	C	Priorities
A	1	1	1	.33
B	1	1	1	.33
C	1	1	1	.33

	School Life A	B	C	Priorities
A	1	5	1	.45
B	1/5	1	1/5	.09
C	1	5	1	.46

	Vocational Trng. A	B	C	Priorities
A	1	9	7	.77
B	1/9	1	1/5	.05
C	1/7	5	1	.17

	College Prep. A	B	C	Priorities
A	1	1/2	1	.25
B	2	1	2	.50
C	1	1/2	1	.25

	Music Classes A	B	C	Priorities
A	1	6	4	.69
B	1/6	1	1/3	.09
C	1/4	3	1	.22

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการแปลงคะแนนของทางเลือกให้อยู่ในรูปแบบตารางเมตริกซ์

ที่มา: Saaty, 1970

4) คำนวณค่าความสอดคล้องของข้อมูล (Calculate Consistency Level) เป็นการตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 นั้นมีความถูกต้องและสอดคล้องกันของเหตุผลหรือไม่ โดยนำค่าคะแนนมาคูณกับค่าน้ำหนัก/ค่าความสำคัญ และหาผลรวมแนวนอน จากนั้นนำไปหารด้วยค่าน้ำหนัก/ค่าความสำคัญ ดังตัวอย่างของเกณฑ์ Learning ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการหาความสอดคล้อง

	A	B	C	ผลรวม แนวนอน	ลำดับ ความสำคัญ	ผลหาร
A	1 * 0.16 = 0.16	1/3 * 0.59 = 0.19	1/2 * 0.25 = 0.125	0.475	0.16	2.97
B	3 * 0.16 = 0.48	1 * 0.59 = 0.59	3 * 0.25 = 0.75	1.82	0.59	3.08
C	2 * 0.16 = 0.32	1/3 * 0.59 = 0.19	1 * 0.25 = 0.25	0.76	0.25	3.04

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

จากนั้นคำนวณหา λ max โดยนำผลรวมของผลหารมาหารด้วยจำนวนทางเลือก จะได้คำตอบดังสมการที่ (2-1)

$$\lambda \text{ max} = (2.97+3.08+3.04)/3 = 9.09/3 = 3.03 \quad (2\text{-}1)$$

แล้วจึงนำไปคำนวณหาดัชนีความสอดคล้อง (CI) ดังสมการที่ (2-2)

$$CI = (\lambda \text{ max}-n)/n-1 \quad (2\text{-}2)$$

$$= (3.03–3)/2 = 0.03/2 = 0.015$$

ขั้นตอนสุดท้ายให้นำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio) ดังสมการที่ (2-3) โดยอ้างอิงตาราง RI ในขนาดตารางเมตริกซ์เท่ากับ 3 ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงค่า RI ตามขนาดตารางเมตริกซ์

ขนาดของเมตริกซ์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่า RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ที่มา: Saaty, 1980

$$CR = (CI/RI) * 100 \quad (2\text{-}3)$$

$$= (0.015/0.58) *100 = 0.026*100 = 2.6$$

ดังนั้น สรุปได้ว่าค่าความสอดคล้องที่ใช้ Learning เป็นเกณฑ์ คือ 2.6 ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ของเมตริกซ์ขนาด 3X3 ที่มีค่าอัตราความสอดคล้องที่ 5%

5) จัดอันดับเกณฑ์/ทางเลือก (Rank the Criteria/Alternatives) คำนวณหาโดยนำค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์มาคูณกับค่าความสำคัญของแต่ละทางเลือก ดังผลลัพธ์ในรูปที่ 2.12

ตัวอย่างการคำนวนผลลัพธ์ของทางเลือก School A สามารถหาได้จาก

(0.32*0.16)+(0.14*0.33)+(0.03*0.45)+(0.13*0.77)+(0.24*0.25)+(0.14*0.69) = 0.37

	.32 L	.14 F	.03 SL	.13 VT	.24 CP	.14 MC	Composite Impact of Schools
A	.16	.33	.45	.77	.25	.69	.37
B	.59	.33	.09	.05	.50	.09	.38
C	.25	.33	.46	.17	.25	.22	.25

รูปที่ 2.12 แสดงการคำนวณเพื่อจัดอันดับทางเลือก

ที่มา: Saaty, 1970

ดังนั้น ผลการจัดอันดับทางเลือกจากสูงสุดไปหาต่ำสุดตามลำดับ ได้แก่

School B (0.38) > School A (0.38) > School C (0.25)

โดยสรุปแล้ว AHP เป็นกระบวนการที่สามารถนำมาสนับสนุนการตัดสินใจที่มีโครงสร้างซับซ้อนและมีหลายเกณฑ์ โดยการกำหนดค่าตัวเลขลำดับความสำคัญของแต่ละตัวแปร และหากตัวแปรใดที่มีค่าความสำคัญสูงสุดจะมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ในการตัดสินใจ

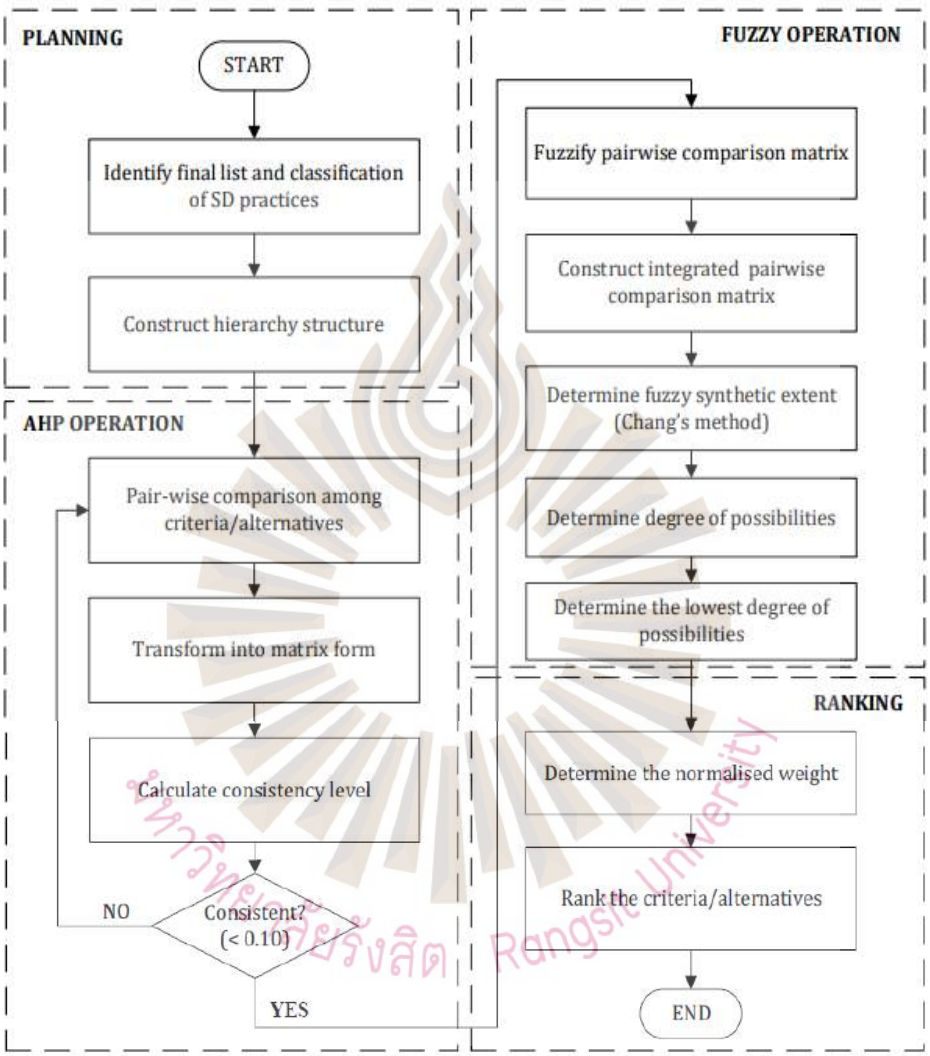
2.6 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ (Fuzzy Analytical Hierarchy Process) หรือ Fuzzy AHP เป็นการประยุกต์รวม Fuzzy Set กับ AHP เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องบางประการของ AHP

2.6.1 ความหมายของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ

Fuzzy AHP หมายถึง กระบวนการสำหรับการตัดสินใจที่มีโครงสร้างของปัญหาแบบลำดับชั้นและมีความไม่แน่นอน โดยอาศัยทฤษฎี Fuzzy Set มาช่วยในการให้ค่าน้ำหนักหรือ

จัดลำดับความสำคัญในการพิจารณาทางเลือก เพื่อให้ได้ค่าที่ชัดเจน ภายหลังจากได้ค่าคะแนนความพึงพอใจโดยการเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison) ตามกระบวนการของ AHP ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงกระบวนการของ Fuzzy AHP

ที่มา: Rahayu, Wan & Maimunah, 2022

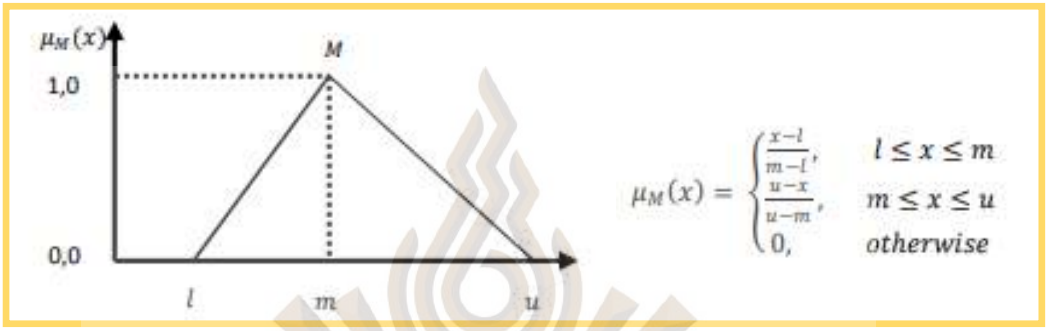
2.6.2 รูปแบบการประยุกต์ใช้ฟัซซี่เซตฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกกับ AHP

ฟัซซี่เซตฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก (Fuzzy Set Membership Function) ที่นำมาประยุกต์ใช้กับ AHP มีหลายรูปแบบ ปัจจุบันที่นิยมส่วนใหญ่ ได้แก่ (a) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) (b) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal

Membership Function) และ (c) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.14 – 2.16

(a) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

โดย M ประกอบด้วยจำนวนจริง 3 จำนวน ได้แก่ l คือ ค่าล่าง m คือค่ากลาง และ u คือ ค่าบน โดยที่ $1 \leq m \leq u$ และค่าฟังก์ชันสมาชิก คือ $\mu_M(x)$ ดังรูปที่ 2.14

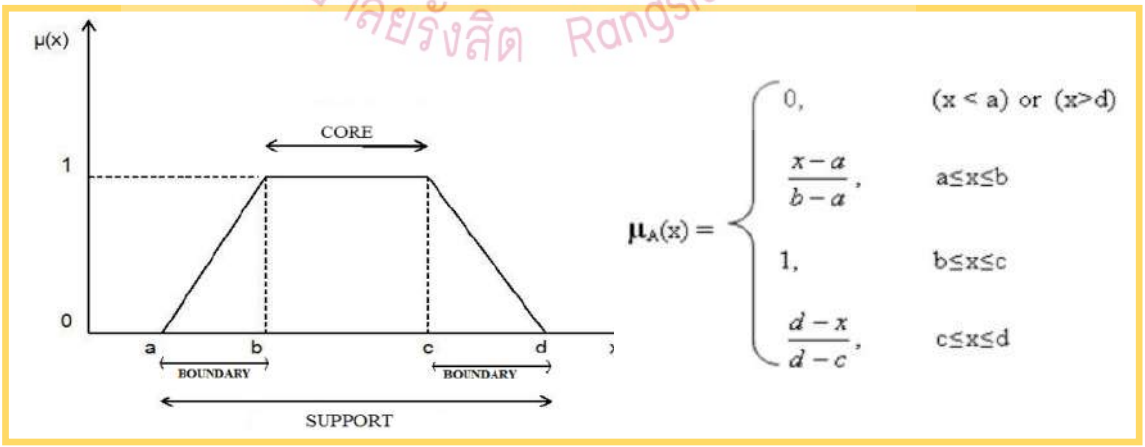


รูปที่ 2.14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม

ที่มา: Daniel & Friday, 2016

(b) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership function)

ค่าฟังก์ชันสมาชิก คือ $\mu_A(x)$ โดย A ประกอบด้วยพารามิเตอร์สเกลาร์ 4 จำนวน ได้แก่ a, b, c และ d โดยที่ a เป็นขอบเขตล่าง, d เป็นขอบเขตบน, b เป็น ขอบเขตล่างสนับสนุน และ c เป็นขอบเขตบนสนับสนุน โดยที่ $a < b < c < d$ ดังรูปที่ 2.15



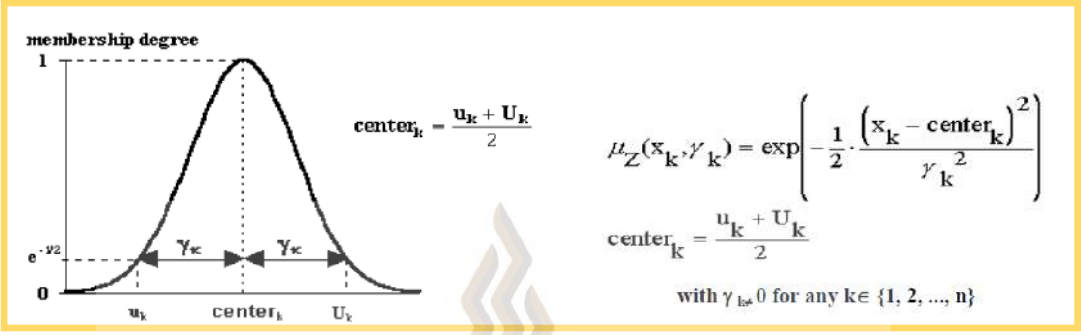
รูปที่ 2.15 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสี่เหลี่ยมคางหมู

ที่มา: Princy & Dhenakaran, 2016

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

(c) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเกาส์เซียน (Gaussian Membership function)

ค่าฟังก์ชันสมาชิก คือ $\mu_Z(x_k, y_k)$ โดยที่ k เป็นค่าใดๆ ตั้งแต่ 1, 2, … , n สามารถคำนวณหาค่ากลาง (Center) และค่าฟังก์ชันสมาชิกได้ ดังรูปที่ 2.16



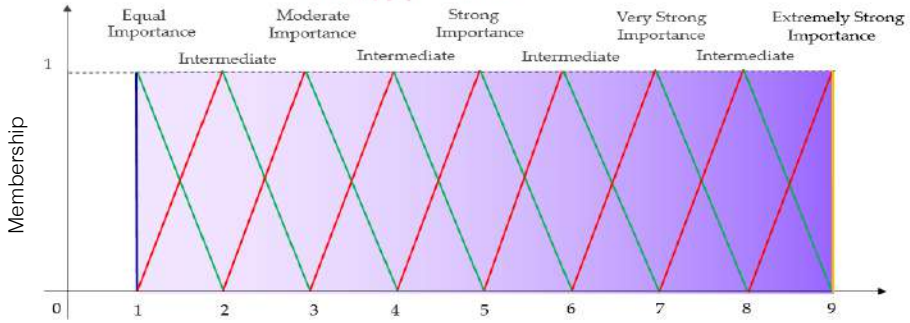
รูปที่ 2.16 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเกาส์เซียน

ที่มา: Satyananda & Raju, 2009

ทั้งนี้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม ถือเป็นฟังก์ชันที่นิยมใช้กันส่วนใหญ่ โดยใช้เกี่ยวกับการควบคุมความเร็วที่ต้องการ เนื่องจากมีการคำนวณน้อย จึงทำให้มีการนำมาประยุกต์ในงานต่างๆ อย่างแพร่หลาย

2.6.3 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยมกับ Fuzzy AHP

การกำหนด Fuzzy Scale ให้กับระดับความสำคัญ 9 ระดับของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม แสดงได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การกำหนด Fuzzy Scale ให้กับระดับความสำคัญ 9 ระดับ ที่มีฟังก์ชันภาวะสมาชิกแบบสามเหลี่ยม

ที่มา: Yan, Claudia & Christopher, 2020

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

จากการกำหนด Fuzzy Scale ให้กับระดับความสำคัญ 9 ระดับ ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม สามารถแสดงค่าความสำคัญได้ดังรูปที่ 2.18

Relative Importance (C_{ij})	Definition	Triangular fuzzy number
$\tilde{1}$	Equal importance	(1,1,2)
$\tilde{2}$	Middle value between 1 and 3	(1,2,3)
$\tilde{3}$	Weak importance	(2,3,4)
$\tilde{4}$	Middle value between 3 and 5	(3,4,5)
$\tilde{5}$	Strong importance	(4,5,6)
$\tilde{6}$	Middle value between 5 and 7	(5,6,7)
$\tilde{7}$	Very strong importance	(6,7,8)
$\tilde{8}$	Middle value of 7 and 9	(7,8,9)
$\tilde{9}$	Absolute importance	(8,9,9)

รูปที่ 2.18 ค่าความสำคัญของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม

ที่มา: Ching-Fu & Chia, 2011

2.6.4 ขั้นตอนการทำงานของ Fuzzy AHP ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม

Manoj Mathew (2019) อธิบายขั้นตอนการทำงานของ Fuzzy AHP ที่มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยม ดังนี้

1) การแทนค่าตัวเลขแสดงความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมของ Fuzzy AHP เพื่อคำนวณหาเมตริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่แบบฟัซซี่ (Fuzzified Pairwise) คือ ค่าล่าง (l) ค่ากลาง (m) และค่าบน (u) ถูกแสดงในรูปแบบ (l, m, u) ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงเมตริกซ์การเปรียบเทียบรายคู่แบบฟัซซี่

Criteria	Criteria-1	Criteria-2	Criteria-3
Criteria-1	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$
Criteria-2	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)
Criteria-3	(1, 2, 3)	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1, 1, 1)

ที่มา: Manoj Mathew, 2019

2) คำนวนหาค่าของการสังเคราะห์ Fuzzy โดยใช้สูตรคำนวณ ดังสมการที่ (2-4)

โดย $M_{gi}^{1}, M_{gi}^{2}, M_{gi}^{3}, \dots, M_{gi}^{m}$ ที่ $g_i(i = 1, 2, 3, \dots, n)$ และ $M_{gi}^{j}\ (j = 1, 2, 3, \dots, m)$

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} \quad (2\text{-}4)$$

โดยที่ $\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}$ คำนวณได้จากสมการที่ (2-5)

$$\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{j=1}^{m} l_j,\ \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j\right) \quad (2\text{-}5)$$

ในขั้นสุดท้ายของการคำนวณค่าใหม่ของ (l, m, u) จะคำนวณจาก $\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1}$

โดย $M_{gi}^{j}\ (j = 1, 2, 3, \dots, m)$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-6)

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} = \left(\sum_{i=1}^{n} l_i,\ \sum_{i=1}^{n} m_i, \sum_{i=1}^{n} u_i\right) \quad (2\text{-}6)$$

จากนั้น ทำการอินเวอร์สค่าเวกเตอร์จากสมการที่ (2-6) ให้เป็นสมการที่ (2-7)

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \quad (2\text{-}7)$$

ทั้งนี้ สามารถแสดงขั้นตอนการหาค่าของการสังเคราะห์ Fuzzy ได้ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการหาค่าของการสังเคราะห์ Fuzzy

Criteria	Criteria-1	Criteria-2	Criteria-3	$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j}\right]^{-1}$	S_i
Criteria-1	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	$(\frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1})$	(3.333, 4.5, 6)	(3.333, 4.5, 6) $\otimes$ $(\frac{1}{16}, \frac{1}{12.167}, \frac{1}{8.833})$ = (29.444, 54.750, 96)
Criteria-2	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1, 1, 1)	(2, 3, 4)	(3.250, 4.333, 5.5)	(3.250, 4.333, 5.5) $\otimes$ $(\frac{1}{16}, \frac{1}{12.167}, \frac{1}{8.833})$ = (28.708, 52.722, 88)
Criteria-3	(1, 2, 3)	$(\frac{1}{4}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$	(1, 1, 1)	(2.250, 3.333, 4.5)	(2.250, 3.333, 4.5) $\otimes$ $(\frac{1}{16}, \frac{1}{12.167}, \frac{1}{8.833})$ = (19.875, 40.556, 72)
				(8.833, 12.167, 16)	
				$(\frac{1}{16}, \frac{1}{12.167}, \frac{1}{8.833})$	

ที่มา: Mathew, 2019

จากตารางที่ 2.7 แสดงการหาค่าสังเคราะห์ Fuzzy จากตัวเลขแสดงความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยมในแต่ละเกณฑ์ ก่อนจะนำไปคำนวณหาค่า Degree of Membership ต่อไป

3) คำนวณหา Degree of Membership หรือ Degree of Possibility โดยให้

$M_2 = (l_2, m_2, u_2)$ และ $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ สามารถคำนวณหาผลลัพธ์ได้จากสมการที่ (2-8)

$$V(M_2 \geq M_1) = \sup\left[\min\left(\mu_{M1}(x), \mu_{M2}(y)\right)\right], y \geq x \quad (2\text{-}8)$$

จะได้เป็นสมการที่ (2-9)

$$V(M_2 \geq M_1) = \text{hgt}(M_1 \cap M_2) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0 & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \dfrac{l_1 - u2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2\text{-}9)$$

จากนั้นคำนวณหาค่า Degree of Membership สำหรับ Covex Fuzzy Number จำนวน k จากเงื่อนไขของสมการที่ (2-10)

$$\begin{aligned} V \geq M_1, M_2, \ldots, M_k) = {} & V\,[(M \geq M_1) \text{ และ } (M \geq M_2) \\ & \text{และ } (M \geq M_3) \text{ และ } \ldots \text{ และ } M \geq M_k)] \\ = {} & \min V \ (M \geq M_i), (i = 1,2,3, \ldots, k) \end{aligned} \quad (2\text{-}10)$$

หรืออาจอธิบายได้ว่า

$$d'(A_i) = \min V \ (S_i \geq S_k), (k = 1,2,3, \ldots, n; k \neq i)$$

ดังนั้น จากตารางที่ 2.7 สามารถคำนวณหา Degree of Membership ได้ดังรูปที่ 2.19

Criteria	S_i
Criteria-1	(29.444 , 54.750 , 96) l_1 m_1 u_1
Criteria-2	(28.708 , 52.722 , 88) l_2 m_2 u_2
Criteria-3	(19.875 , 40.556 , 72) l_3 m_3 u_3

$V(S \geq S_2) = 1$
$V(S_1 \geq S_3) = 1$

$V(S_2 \geq S_1) = 0.966529$
$V(S_2 \geq S_3) = 1$

$V(S_3 \geq S_1) = 0.749878$
$V(S_3 \geq S_2) = 0.780616$

จะได้ $V(S_1 \geq S_2, S_3) = 1$

$V(S_2 \geq S_1, S_3) = 0.966529$

$V(S_3 \geq S_1, S_2) = 0.749878$

รูปที่ 2.19 แสดงการหา Degree of Membership

ที่มา: Mathew, 2019

4) คำนวณหาค่าความสำคัญ โดยใช้สมการที่ (2-11)

การคำนวณหาค่าความสำคัญ ทำให้โดยสมการที่ (2-11)

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), d'(A_3), \dots, d'(A_n))^T \quad (2\text{-}11)$$

เมื่อ $A_i\ (i = 1, 2, 3, \dots, n)$

5) ทำข้อมูลให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalization) โดยใช้สมการที่ (2-12)

$$W = (d(A_1), d(A_2), d(A_3), \dots, d(A_n))^t \quad (2\text{-}12)$$

จากรูปที่ 2.19 ทำให้ได้ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 2.20 และตารางที่ 2.10

$$W' = (1, 0.966529, 0.749878)^T$$

$$\textbf{Sum (W)} = 1 + 0.966529 + 0.749878 = 2.716407$$

$$\text{Norm (W')} = \left(\frac{1}{2.716407}, \frac{0.966529}{2.716407}, \frac{0.749878}{2.716407}\right)^T$$

Norm (W) = (0.3681, 0.3558, 0.2761)

รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าน้ำหนักของเกณฑ์

ที่มา: Mathew, 2019

ตารางที่ 2.8 แสดงผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ (Weight of Criteria)

Criteria	S_i	Weight of Criteria
Criteria-1	(29.444, 54.750, 96)	0.3681
Criteria-2	(28.708, 52.722, 88)	0.3558
Criteria-3	(19.875 , 40.556 , 72)	0.2661

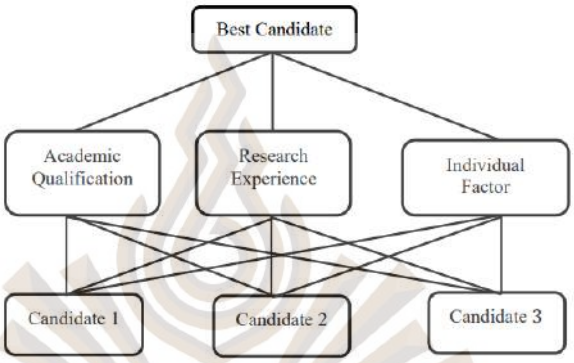
ที่มา: Mathew, 2019

ทั้งนี้ ในการนำ Fuzzy Number มาใช้ในการเปรียบเทียบแบบรายคู่ จะต้องคำนวณหาค่าสังเคราะห์ Fuzzy และ Degree of Membership เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ ซึ่งจะทำให้สามารถเรียงลำดับความสำคัญของเกณฑ์จากค่าน้ำหนักที่ได้

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

2.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Fuzzy AHP

Daniel & Friday (2016) ได้นำเทคนิค Fuzzy AHP ในฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยมมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกบุคลากรสายวิชาการของมหาวิทยาลัยซึ่งต้องอาศัยเกณฑ์หลายข้อในการพิจารณาจ้างงาน ได้แก่ ความรู้ในเชิงวิชาการ (Academic Qualification) ประสบการณ์วิจัย (Research Experience) และทักษะเฉพาะตัว (Individual Factor) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 โครงสร้าง AHP ในการคัดเลือกบุคลากรสายวิชาการของมหาวิทยาลัย

ที่มา: Daniel & Friday, 2016

นอกจากนี้ Ömür (2020) ได้นำเทคนิค Fuzzy AHP ในฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสามเหลี่ยมมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดกลยุทธ์ของมหาวิทยาลัยในการวิเคราะห์ SWOT เพื่อขจัดความบกพร่องทางผลประโยชน์ โดยการวิเคราะห์กลยุทธ์หลัก 6 กลยุทธ์และกลยุทธ์ย่อย 13 กลยุทธ์ ทำให้ได้ข้อสรุปกลยุทธ์ที่สำคัญที่สุดสำหรับมหาวิทยาลัยคือ “การเป็นมหาวิทยาลัยระดับท็อป 5 ของประเทศและมหาวิทยาลัยระดับท็อป 500 ของโลก” เป็นต้น โดยพิจารณาจากระดับความสำคัญของเกณฑ์หลักด้วยเทคนิค Fuzzy AHP ทำให้สามารถประเมินทางเลือกกลยุทธ์ได้อย่างเหมาะสม

โดยสรุปแล้ว Fuzzy AHP อาศัยทฤษฎี Fuzzy Set มาช่วยในการให้ค่าน้ำหนักหรือจัดลำดับความสำคัญในการพิจารณาทางเลือกเพื่อให้ได้ค่าที่ชัดเจน ภายหลังจากได้ค่าคะแนนความพึงพอใจโดยการเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison) ตามกระบวนการของ AHP

2.7 เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาศึกษาต่อ

ประณมกร อัมพรพรรดิ์ (2554) ได้นำหลักการ AHP มาประยุกต์ใช้ในการสร้างโมเดลสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษา ในปีการศึกษา 2553 โดยเลือกผู้ตัดสินใจด้วยวิธีความบังเอิญ (Accidental Sampling) และให้ผู้ตัดสินใจทำการประเมินเปรียบเทียบเกณฑ์และทางเลือกตามหลักการ AHP เพื่อหาเกณฑ์ที่มีความสำคัญที่สุดที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเข้าศึกษาต่อในสถาบันอุดมศึกษา และลำดับของสถาบันอุดมศึกษาที่เป็นทางเลือกสำหรับผู้ตัดสินใจ ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญจากเกณฑ์ต่างๆ โดยพิจารณาจากค่าน้ำหนักความสำคัญ พบว่าผู้ตัดสินใจให้น้ำหนักความสำคัญแก่มหาวิทยาลัยราชภัฏสูงสุด ในเกณฑ์ด้านความสะดวกในการเดินทาง ด้านค่าเล่าเรียนไม่แพง ด้านระบบจ่ายค่าเล่าเรียนสะดวก ด้านโอกาสในการสำเร็จการศึกษาตามระยะเวลาที่หลักสูตรกำหนด ด้านทุนสนับสนุนการศึกษาและด้านครู อาจารย์ เพื่อนรุ่นพี่แนะนำมาตามลำดับ ส่วนมหาวิทยาลัยเปิดของรัฐ ผู้ตัดสินใจให้น้ำหนักความสำคัญในเกณฑ์ด้านมหาวิทยาลัยมีหลักสูตรน่าสนใจ หรือสาขาตรงตามความต้องการ ด้านมหาวิทยาลัยมีชื่อเสียง ด้านอาจารย์ผู้สอนมีชื่อเสียงและมีคุณภาพ ด้านพื้นที่กว้างและสภาพแวดล้อมดี ด้านห้องเรียน ห้องเอนกประสงค์ ที่นั่งพักสะดวกสบาย ด้านสื่อการสอนที่ทันสมัย ด้านมีกิจกรรมวิชาการที่เป็นประโยชน์ ด้านมหาวิทยาลัยเป็นที่ยอมรับของตลาดแรงงานและสังคม และสุดท้ายคือด้านความต้องการของผู้ปกครอง ส่วนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล มหาวิทยาลัยเปิดของรัฐ และมหาวิทยาลัยเอกชนมีน้ำหนักความสำคัญในเกณฑ์ทั้งหมดรองลงมาจากสองกลุ่มมหาวิทยาลัยที่กล่าวมา

Kilic (2011) ได้ทำการศึกษาถึงเกณฑ์ที่เป็นไปได้และมีผลต่อกระบวนการตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัย โดยการทบทวนวรรณกรรมเชิงลึกและใช้แบบสอบถามกับนักศึกษาจำนวน 66 คน พบว่า เกณฑ์ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ วัฒนธรรมและสังคมในเมืองที่ตั้งของมหาวิทยาลัย อันดับของคะแนนในการสอบเข้า ภาษาที่ใช้ในการเรียน (ภาษาอังกฤษ) บุคลากรสายวิชาการของมหาวิทยาลัย และความนิยมของมหาวิทยาลัย ดังตารางที่ 2.9

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

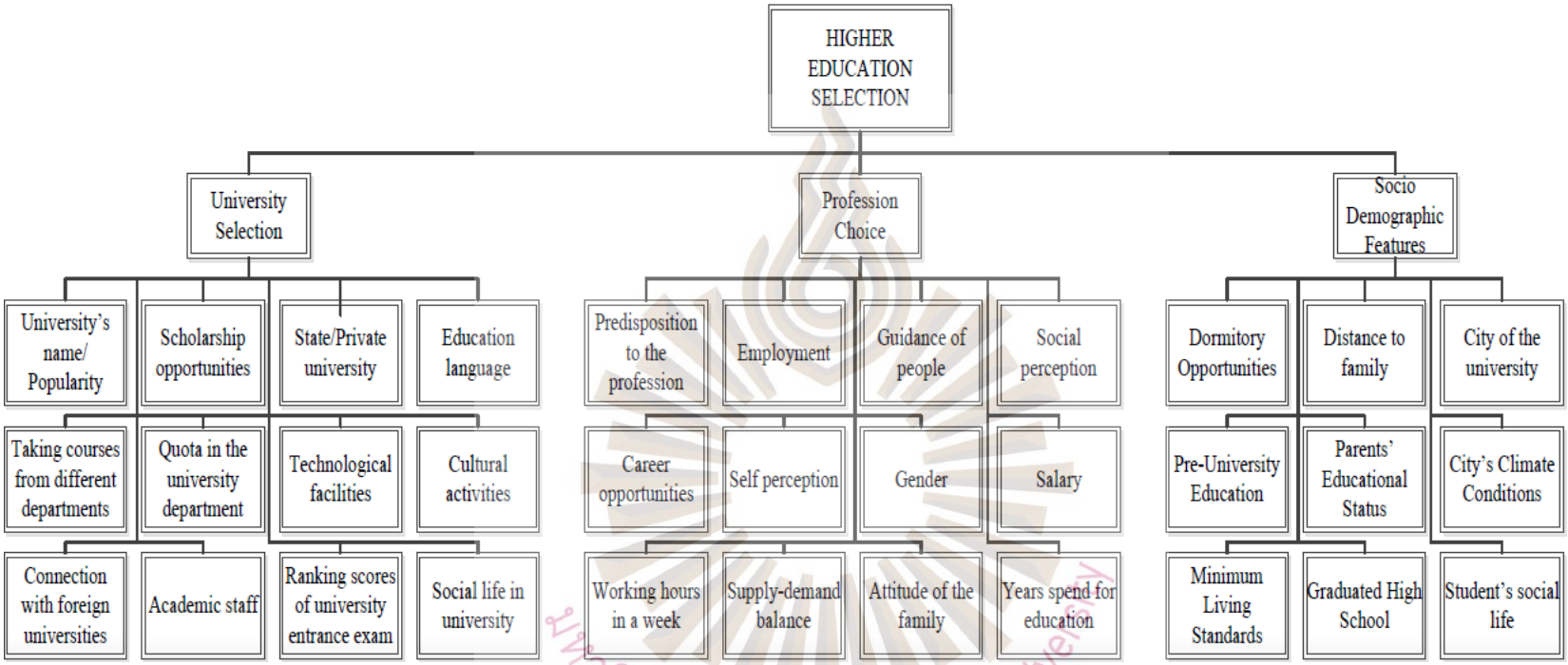
ตารางที่ 2.9 แสดงเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยและจำนวนผู้เลือกตอบ

Criteria	# of Choice
The cultural and social properties of the city where the university is located.	51
The expense of life in the city where university is located.	5
The weather conditions of the city where university is located.	4
The distance between the city of university and home town.	28
The physical properties of the university (accommodation facilities, cultural and social centers)	30
The rank of the university according to the university entrance exam score.	51
The education language of the university (English)	51
The monetary opportunities that the university provides.	5
The academic staff of the university	46
The foreign relations of the university	24
The popularity of the university.	32

ที่มา: Kilic, 2011

Akkas & Ayhan (2018) ได้จำแนกเกณฑ์ที่ใช้ในการศึกษาต่อระดับที่สูงกว่ามัธยมศึกษา จำนวน 33 เกณฑ์ ภายใต้เกณฑ์หลักจำนวน 3 เกณฑ์ ดังรูปที่ 2.22

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 2.22 แสดงการจำแนกเกณฑ์ที่ใช้ในการในการเลือกสถาบันการศึกษาระดับสูงกว่ามัธยมศึกษา

ที่มา: Akkas & Ayhan, 2018

จากภาพข้างต้นสามารถแสดงในรูปแบบโครงสร้างลำดับชั้น ดังรูปที่ 2.23

Main Criteria	Sub Criteria
UNIVERSITY SELECTION (C_1)	University's name/popularity ($C_{1,1}$)
	Scholarship opportunities ($C_{1,2}$)
	State-private university ($C_{1,3}$)
	Education language ($C_{1,4}$)
	Taking courses from different departments ($C_{1,5}$)
	Quota in the university department ($C_{1,6}$)
	Technological facilities ($C_{1,7}$)
	Cultural activities ($C_{1,8}$)
	Connection with foreign universities ($C_{1,9}$)
	Academic staff ($C_{1,10}$)
	Ranking scores of university entrance exams ($C_{1,11}$)
	Social life in university ($C_{1.12}$)
PROFESSION CHOICE (C_2)	Predisposition to the profession ($C_{21,}$)
	Employment ($C_{2,2}$)
	Guidance of people ($C_{2,3}$)
	Social perception ($C_{2,4}$)
	Career opportunities ($C_{2,5}$)
	Self-perception ($C_{2,6}$)
	Gender ($C_{2,7}$)
	Salary ($C_{2,8}$)
	Working hours in a week ($C_{2,9}$)
	Supply-demand balance ($C_{2,10}$)
	Attitude of the family ($C_{2,11}$)
	Years spent for education ($C_{2,12}$)
SOCIODEMOGRAPHIC FEATURES (C_3)	Dormitory opportunities ($C_{3,1}$)
	Distance to family ($C_{3,2}$)
	City of the university ($C_{3,3}$)
	Pre-university education ($C_{3,4}$)
	Parent's educational status ($C_{3,5}$)
	City's climate conditions ($C_{3,6}$)
	Minimum living standard of city ($C_{3,7}$)
	Graduated high school ($C_{3,8}$)
	Student's social life ($C_{3,9}$)

รูปที่ 2.23 โครงสร้างลำดับชั้นของเกณฑ์ในการเลือกสถาบันการศึกษาระดับสูงกว่ามัธยมศึกษา

ที่มา: Akkas & Ayhan, 2018

โดยสรุปแล้วในการพิจารณาตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมที่สุดจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์ต่างๆ ประกอบการพิจารณา ซึ่งแต่ละบุคคลอาจมีมุมมองความสนใจเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความต้องการและคุณสมบัติของผู้เรียน ดังนั้น การทำความเข้าใจเกี่ยวกับเกณฑ์ต่างๆ จะช่วยให้สามารถประเมินผลลัพธ์ได้อย่างเหมาะสม

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัย เรื่อง การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP และเพื่อตอบสนองการเลือกเกณฑ์เฉพาะบุคคลของแต่ละผู้ใช้ในระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

โดยการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย 9 ขั้นตอน ได้แก่

1) ขั้นตอนการทบทวนปัญหา

2) ขั้นตอนการทบทวนงานวรรณกรรม AHP, Fuzzy AHP และระบบผู้แนะนำ

3) ขั้นตอนการทบทวนและออกแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

4) ขั้นตอนการนำเสนอเกณฑ์ที่เลือกใช้

5) ขั้นตอนการพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

6) ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ AHP และ Fuzzy AHP ในการจัดอันดับเกณฑ์

7) ขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของการใช้ระบบผู้แนะนำ

8) ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP

9) ขั้นตอนการสรุปผลการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการทบทวนปัญหา

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาโดยตระหนักถึงความสำคัญของการศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาซึ่งจะช่วยเพิ่มโอกาสในการแข่งขันและสร้างความมั่นคงในชีวิตแก่ผู้เรียน ซึ่งการตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมเป็นหนึ่งในการตัดสินใจที่สำคัญ เนื่องจากมีผลต่อการตัดสินใจเลือกอาชีพในอนาคตด้วย ผู้เรียนจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลสำคัญหรือเกณฑ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการประเมินความแตกต่างของทางเลือก โดยอาศัยระบบผู้แนะนำมาช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ

ให้แก่นักศึกษา และเนื่องจากการตัดสินเลือกศึกษาต่อเป็นปัญหาที่ซับซ้อน มีหลายเกณฑ์และหลายทางเลือก ผู้วิจัย จึงเลือกใช้ AHP และ Fuzzy AHP เป็นกระบวนการหลักในการหาผลลัพธ์รายบุคคล ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้เป็นแบบพลวัตขึ้นอยู่กับความสนใจและความต้องการของแต่ละบุคคลโดยเฉพาะ

3.2 ขั้นตอนการทบทวนงานวรรณกรรม AHP, Fuzzy AHP และระบบผู้แนะนำ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ AHP, Fuzzy AHP และระบบผู้แนะนำ ในการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ รวมถึงด้านการศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยที่เป็นการตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ซึ่งมีหลายตัวแปรหรือหลายเกณฑ์ในการตัดสินใจ รวมทั้งศึกษาขั้นการของแต่ละกระบวนการเพื่อนำมาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันในการสนับสนุนการจัดอันดับมหาวิทยาลัยให้แก่ผู้ใช้งานเพื่อตัดสินใจศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา

3.3 การทบทวนและออกแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อจากงานวิจัยของไทยและต่างประเทศ โดยผู้เรียนในประเทศไทยจะให้ความสนใจเกณฑ์ต่างๆ อาทิ ด้านความสะดวกในการเดินทาง ด้านค่าเล่าเรียนไม่แพง ด้านทุนสนับสนุนการศึกษา ด้านมหาวิทยาลัยมีชื่อเสียง และด้านความต้องการของผู้ปกครอง เป็นต้น ส่วนผู้เรียนในต่างประเทศให้ความสนใจเกณฑ์ต่างๆ เช่น วัฒนธรรมและสังคมในเมืองที่ตั้งของมหาวิทยาลัย อันดับของคะแนนในการสอบเข้า ภาษาที่ใช้ในการเรียน (ภาษาอังกฤษ) บุคลากรสายวิชาการของมหาวิทยาลัย และความนิยมของมหาวิทยาลัย เป็นต้น จากการศึกษาเกณฑ์ดังกล่าวจะสามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ทั้งนี้ การพิจารณาตัดสินใจเลือกมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมของผู้เรียนจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์ต่างๆ มาประกอบการพิจารณา โดยอาศัยดุลยพินิจของแต่ละบุคคลผ่านมุมมองความสนใจ ความต้องการ และคุณสมบัติของผู้เรียน การทำความเข้าใจเกี่ยวกับเกณฑ์ต่างๆ ถือเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

3.4 ขั้นตอนการนำเสนอเกณฑ์ที่เลือกใช้

ขั้นตอนนี้เป็นการสังเคราะห์เกณฑ์หรือปัจจัยที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อจากการศึกษาจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง โดยผู้วิจัยออกแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จำนวน 17 เกณฑ์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

รหัส	ชื่อเกณฑ์	คำอธิบาย	แหล่งอ้างอิง
C1	มหาวิทยาลัยรัฐ / เอกชน (State/Private University)	ประเภทของสถาบันอุดมศึกษา โดยพิจารณาจากต้นสังกัดที่ถือกำเนิด วัตถุประสงค์ของการจัดตั้ง และกลุ่มเป้าหมายผู้เข้าเรียน แบ่งเป็นสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ (State University) และสถาบันอุดมศึกษาเอกชน (private university)	Akkas & Ayhan (2018)
C2	ความนิยมของมหาวิทยาลัย (Popularity)	ความนิยมและชื่อเสียงของมหาวิทยาลัยในวงกว้าง โดยพิจารณาจากการจัดอันดับมหาวิทยาลัยจากเกณฑ์ต่างๆ ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ รวมถึงสถิติจำนวนนักศึกษาที่สะท้อนถึงความสนใจของผู้เรียนในการเข้าศึกษาต่อ	Akkas & Ayhan (2018) Abdelghani & Salim (2018) Yar (2018) Rocky, Innocentius & Ferdi (2021) Aminul & Nehal (2020) Do & Le (2020) Kitikorn & Panjaphol (2017)
C3	สถานที่ตั้งของมหาวิทยาลัย (Location of University)	ตำแหน่งที่ตั้งของมหาวิทยาลัย ซึ่งสัมพันธ์กับระยะทาง เส้นทางการคมนาคมขนส่ง และความใกล้แหล่งอำนวยความสะดวก เช่น รถไฟฟ้า ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น	Akkas & Ayhan (2018) Abdelghani & Salim (2018) Yar (2018) Aminul & Nehal (2020) Do & Le (2020) Kitikorn & Panjaphol (2017)
C4	ความต้องการในการรับเข้า / คุณสมบัติของ	ผู้มีสิทธิในการสมัคร หรือ เกณฑ์คุณสมบัติผู้สมัคร ในแต่ละแผนการศึกษาตามที่หลักสูตรต้องการ หากขาดข้อใดข้อ	Abdelghani & Salim (2018) Aminul & Nehal (2020)

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา (ต่อ)

รหัส	ชื่อเกณฑ์	คำอธิบาย	แหล่งอ้างอิง
	ผู้สมัคร (Entry Requirements)	หนึ่งจะไม่สามารถสมัครเข้าศึกษาต่อได้ อาทิ การสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาที่กำหนดระดับคะแนนเฉลี่ยสะสม และคุณสมบัติอย่างอื่นเพิ่มเติมตามความต้องการของหลักสูตร เป็นต้น	
C5	ระยะเวลาเรียนตลอดหลักสูตร (Length of Study)	จำนวนหน่วยกิตรวม และระยะเวลาการศึกษาที่หลักสูตรกำหนด โดยกำหนดเป็นปีการศึกษา หรือ ภาคการศึกษา ในกรณีที่ผู้เรียนศึกษาเกินระยะเวลาที่หลักสูตรกำหนด อาจเสียค่าธรรมเนียมการศึกษา หรือต้องดำเนินการรักษาสภาพจนกว่าจะสำเร็จการศึกษา	Abdelghani & Salim (2018)
C6	วันและเวลาในการเรียน (Class Time)	ตารางเรียน และ ความยืดหยุ่นในการจัดตารางเพื่อรองรับความต้องการของผู้เรียน เช่น วันธรรมดา วันเสาร์-อาทิตย์ หรือตารางเรียนที่สามารถตกลงกับผู้สอนภายหลังได้โดยอิงตามข้อเสนอส่วนใหญ่ของผู้เรียน เป็นต้น รวมถึงการเรียนในรายวิชาวิทยานิพนธ์ที่นักศึกษาสามารถรายงานโดยตรงกับอาจารย์ที่ปรึกษา	Yar (2018)
C7	ภาษาที่ใช้ในการเรียน (Education Language)	ภาษาที่ใช้ในการเรียน ได้แก่ ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ เป็นต้น ซึ่งอาจสัมพันธ์กับหลักสูตร เช่น หลักสูตรนานาชาติจะใช้ภาษาอังกฤษเป็นหลัก	Akkas & Ayhan (2018)
C8	เงื่อนไขการตีพิมพ์เผยแพร่ (Condition of Publications)	เงื่อนไขในการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ได้แก่ จำนวนผลงาน และ ระดับของผลงานตีพิมพ์ทั้งในระดับชาติและนานาชาติ อาทิ วารสารหรือสิ่งพิมพ์ทาง	Abdelghani & Salim (2018) Aminul & Nehal (2020)

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา (ต่อ)

รหัส	ชื่อเกณฑ์	คำอธิบาย	แหล่งอ้างอิง
		วิชาการที่มีกรรมการภายนอกมาร่วมกลั่นกรอง (Peer Review) หรือ เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการที่มีระบบประเมินบทความโดยมีกรรมการภายนอกมาร่วมกลั่นกรอง รวมถึงบทความวิจัยเรื่องเต็ม (Full Paper) เป็นรายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการ (Proceedings) เป็นต้นรวมถึงการสนับสนุนของหลักสูตรในระหว่างการเรียนหรือทำวิจัย และคุณภาพของงานวิชาการซึ่งเป็นไปตามที่หลักสูตรกำหนดตลอดจนการเตรียมความพร้อมด้านต่างๆ เพื่อสำเร็จการศึกษา	
C9	คะแนนภาษาอังกฤษ (English Scores)	เกณฑ์การยื่นคะแนนการทดสอบภาษาอังกฤษจากสถาบันทดสอบภาษาอังกฤษซึ่งเป็นไปตามประกาศที่มหาวิทยาลัยกำหนด เช่น TOEFL IELT CEFR และอื่นๆ หรือเงื่อนไขการลงทะเบียนเรียนในรายวิชาภาษาอังกฤษสำหรับบัณฑิตศึกษาเพื่อวัดผลความรู้ด้านภาษาอังกฤษในกรณีที่คะแนนทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด โดยหลักสูตรอาจกำหนดช่วงเวลาการยื่นผลคะแนนทั้งในช่วงก่อนเข้าศึกษา ก่อนสอบหัวข้อวิทยานิพนธ์ หรือก่อนสำเร็จการศึกษา เป็นต้น	Abdelghani & Salim (2018) Tharanut (2021)
C10	ความเชี่ยวชาญของบุคลากรสายวิชาการ (Academic Staff)	ความเชี่ยวชาญของบุคลากรสายวิชาการ ได้แก่ อาจารย์ นักวิจัย และบุคลากรของหลักสูตร ซึ่งสะท้อนถึงความพร้อมในการให้คำปรึกษาด้านการทำวิจัยเพื่อให้สำเร็จการศึกษาได้ตามแผนการศึกษา และความพร้อมในการสนับสนุนให้นักศึกษาสามารถสมัครขอรับทุนวิจัยระดับชาติหรือนานาชาติได้	Akkas & Ayhan (2018) Abdelghani & Salim (2018)

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา (ต่อ)

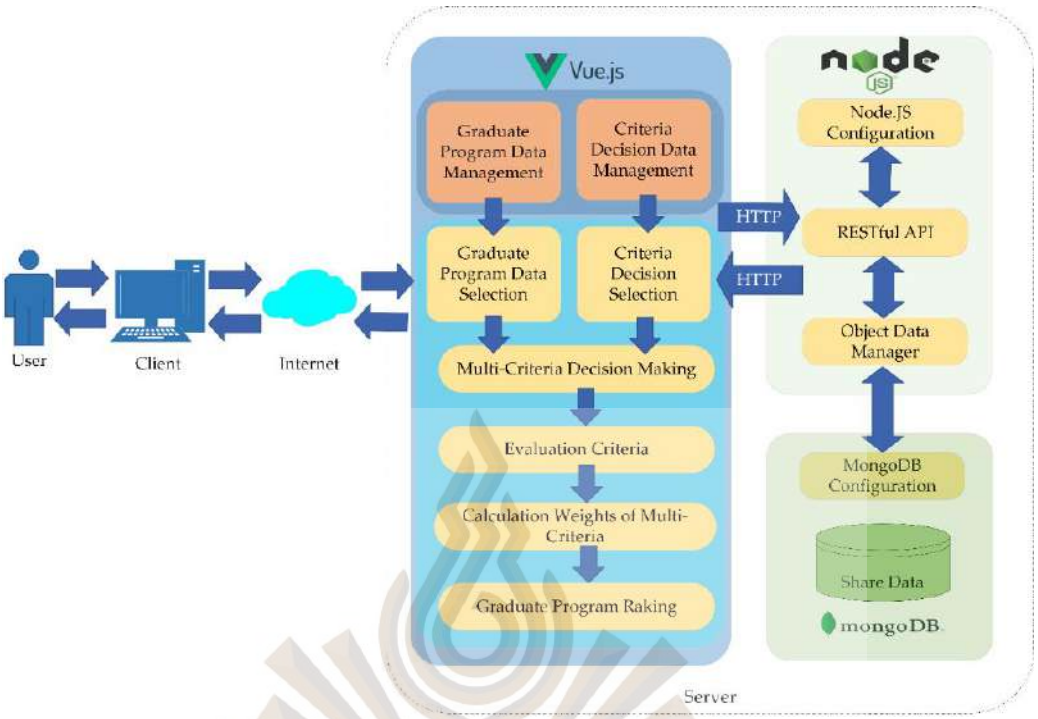
รหัส	ชื่อเกณฑ์	คำอธิบาย	แหล่งอ้างอิง
C11	สิ่งสนับสนุนด้านเทคโนโลยีของหลักสูตร (Technological Facilities)	สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ทางด้านเทคโนโลยี เช่น เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย ห้องบริการคอมพิวเตอร์ให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ห้องปฏิบัติการ การบริการสื่อมัลติมีเดีย ระบบฐานข้อมูลวารสาร (journal) ต่างประเทศ รวมถึงหลักสูตรฝึกอบรมภาคปฏิบัติเกี่ยวกับซอฟต์แวร์สำเร็จรูป การสนับสนุนส่งเสริมการสอบ IT Certificate และ ประกาศนียบัตรคุณวุฒิทางวิชาชีพ เป็นต้น	Akkas & Ayhan (2018) Abdelghani & Salim (2018) Kitikorn & Panjaphol (2017)
C12	เครือข่ายกับมหาวิทยาลัยในต่างประเทศ (Connection with Foreign universities)	เครือข่ายความร่วมมือกับบริษัทและสถาบันการศึกษาต่างประเทศ การแลกเปลี่ยนอาจารย์และนักศึกษา การวิจัยร่วม การจัดหลักสูตรร่วม และอื่นๆ ตามบันทึกความเข้าใจ (memorandum of understanding) ตลอนจนโอกาสในการเข้าร่วมโปรแกรมการศึกษาต่อต่างประเทศหรือฝึกงานกับเครือข่ายพันธมิตร	Akkas & Ayhan (2018)
C13	ค่าใช้จ่ายตลอดหลักสูตร (Cost of Program)	ค่าใช้จ่ายในการเรียน หรือ ประมาณการค่าเทอมรวมกันทั้งหมด ตลอดระยะเวลาที่เรียนจนจบการศึกษา รวมถึงเงื่อนไขการจ่ายเงิน และการแบ่งชำระค่าเทอม เป็นต้น ซึ่งครอบคลุมกลุ่มผู้เรียนที่เป็นนักศึกษาสามัญ และนักศึกษาทดลองเรียน (ถ้ามี)	Abdelghani & Salim (2018) Rocky, Innocentius & Ferdi (2021) Aminul & Nehal (2020) Do & Le (2020)
C14	ทุนการศึกษา (Scholarship opportunities)	โอกาสด้านทุนการศึกษา ทุนอุดหนุน หรือการสนับสนุนด้านการเงินให้แก่ผู้เรียนในด้านต่างๆ ระหว่างการศึกษา เช่น ทุนการศึกษาเต็ม ทุนผู้ช่วยวิจัย ทุนผู้ช่วยสอน ทุนสนับสนุนการวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทุนนำเสนอผลงานทั้งในและต่าง	Akkas & Ayhan (2018) Abdelghani & Salim (2018) Aminul & Nehal (2020) Do & Le (2020)

ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา (ต่อ)

รหัส	ชื่อเกณฑ์	คำอธิบาย	แหล่งอ้างอิง
		ประเทศ ทุนการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน ทุนค่าครองชีพรายเดือน หรือทุนการศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ เป็นต้น	
C15	โปรโมชันหรือส่วนลด (Promotion or discount)	การส่งเสริมการขาย หรือ ส่วนลด สำหรับผู้สนใจเข้าศึกษาต่อ เช่น ส่วนลดค่าหน่วยกิต ส่วนลดสำหรับศิษย์เก่า ส่วนลดเมื่อสมัครภายในเวลาที่กำหนด (early bird) หรือส่วนลดพิเศษอื่นๆ เป็นต้น	Abdelghani & Salim (2018)
C16	ค่าใช้จ่ายในการสมัคร (Application fee)	ค่าใช้จ่ายในการสมัครเรียน อาทิ ค่าระเบียบการรับสมัคร ค่าสมัครสอบคัดเลือกเข้าศึกษาต่อ และค่าสอบวัดความรู้ภาษาอังกฤษ เป็นต้น	Do & Le (2020)
C17	ขั้นตอนการรับสมัคร (Admission processes)	ขั้นตอนการรับสมัครสำหรับผู้สนใจเข้าศึกษาต่อ และช่วงเวลาในการรับสมัครทั้งภาคต้นและภาคปลาย ตลอดจนช่องทางการรับสมัครและช่องทางการติดต่อ เพื่อให้เห็นถึงลำดับขั้นในการพิจารณา อาทิ การสอบข้อเขียน การสอบสัมภาษณ์ด้านความพร้อมและโอกาสสำเร็จการศึกษา และทดสอบความรู้ที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตร เป็นต้น โดยบางหลักสูตรอาจมีขั้นตอนการยื่นหนังสือรับรองการรับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์จากอาจารย์ประจำคณะจึงจะมีสิทธิ์เข้าศึกษา	Abdelghani & Salim (2018) Do & Le (2020)

3.5 ขั้นตอนการพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยแสดงเป็นแผนภาพโครงสร้างสถาปัตยกรรมในการพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ดังรูปที่ 3.1

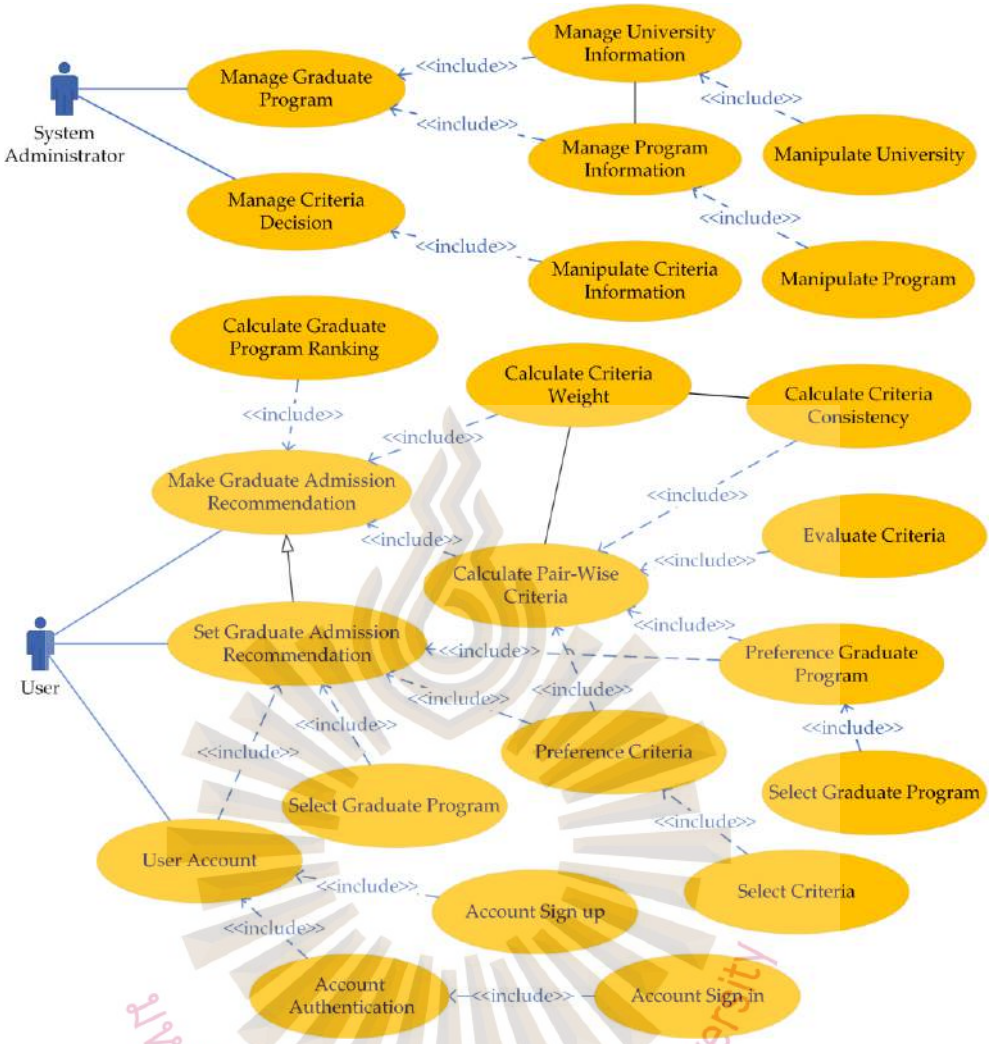


รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนภาพแสดงสถาปัตยกรรมของของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาในรูปแบบของ Full Stack ซึ่งเป็นรูปแบบของการสร้างเว็บแอพลิเคชั่นทั้ง Front-End และ Back-End โดยใช้ภาษา JAVA Script ในทุกส่วน และใช้ MEVN Stack หรือ Framework ที่ใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนแรกคือ MongoDB (M) เป็นฐานข้อมูลแบบ No SQL ส่วนที่ 2 คือ Express (E) เป็น Web Framework สำหรับ NodeJS ส่วนที่ 3 คือ Vue.js (V) เป็น Frontend Framework และส่วนที่ 4 คือ NodeJS (N) เป็น JavaScript Runtime สำหรับรันจาวาสคริปต์สมัยใหม่

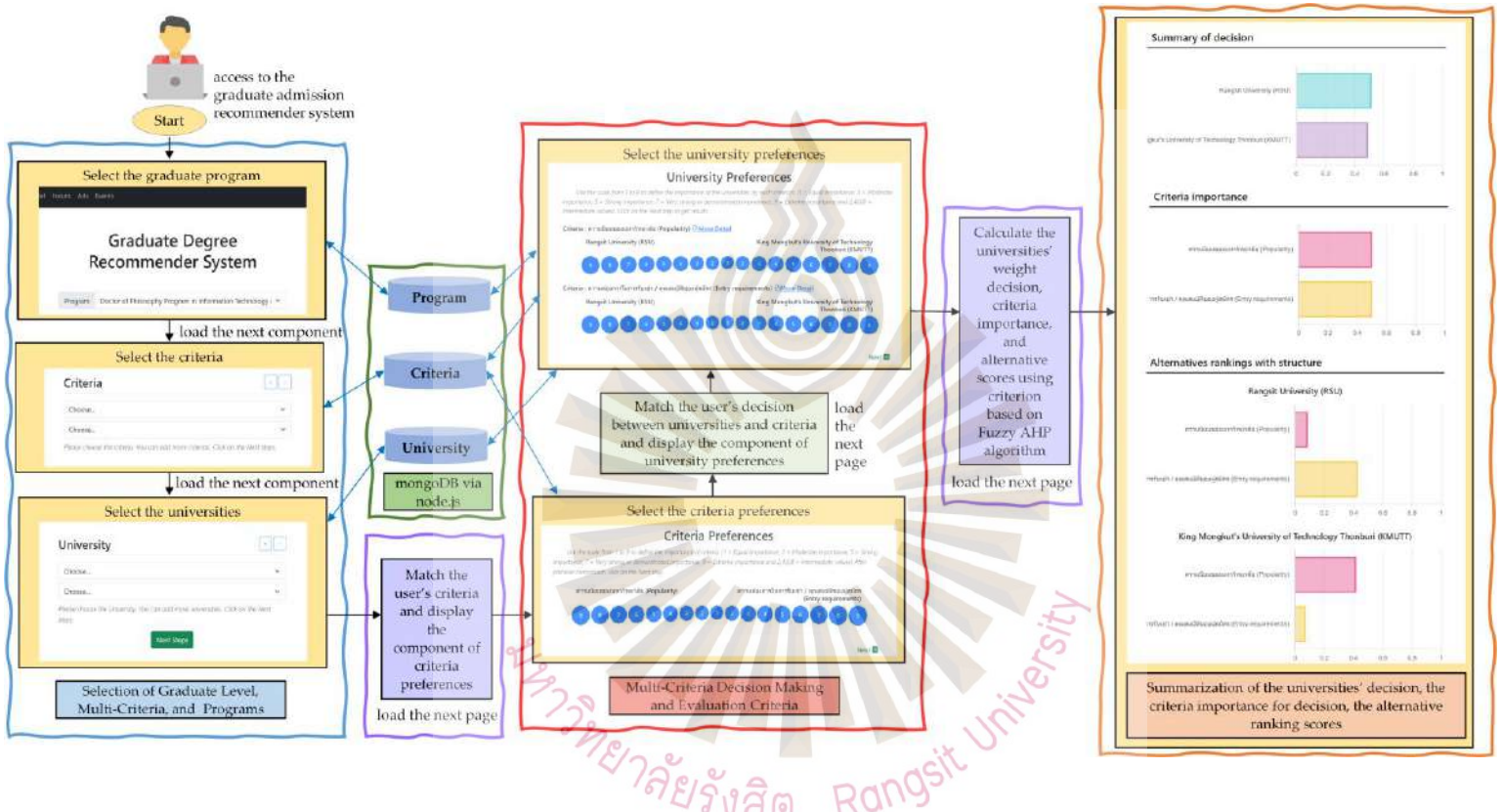
ในการพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ผู้วิจัยได้นำเสนอขอบเขตการเข้าใช้งานระบบของผู้ใช้ด้วยแผนภาพ Use Case Diagram ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Use case Diagram ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

จากรูปที่ 3.2 ผู้จัดการระบบ (System Administrator) ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาสามารถเพิ่ม แก้ไข หรือลบรายชื่อหลักสูตรและรายชื่อมหาวิทยาลัย ตลอดจนสามารถดำเนินการกับข้อมูลเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาในระบบผู้แนะนำ รวมถึงในส่วนผู้ใช้งาน (User) สามารถเข้าสู่ระบบเพื่อใช้งานโดยเลือกหลักสูตรที่สนใจ เกณฑ์ที่ต้องการนำมาพิจารณา และมหาวิทยาลัย เพื่อให้ค่าน้ำหนักความพึงพอใจในแต่ละเกณฑ์และแต่ละทางเลือก เพื่อให้ระบบมีการประเมินผลและจัดอันดับทางเลือกให้แก่ผู้ใช้งานในการพิจารณาตัดสินใจต่อไป



รูปที่ 3.3 แผนภาพการไหล (Information Flow Diagram) ของสารสนเทศของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

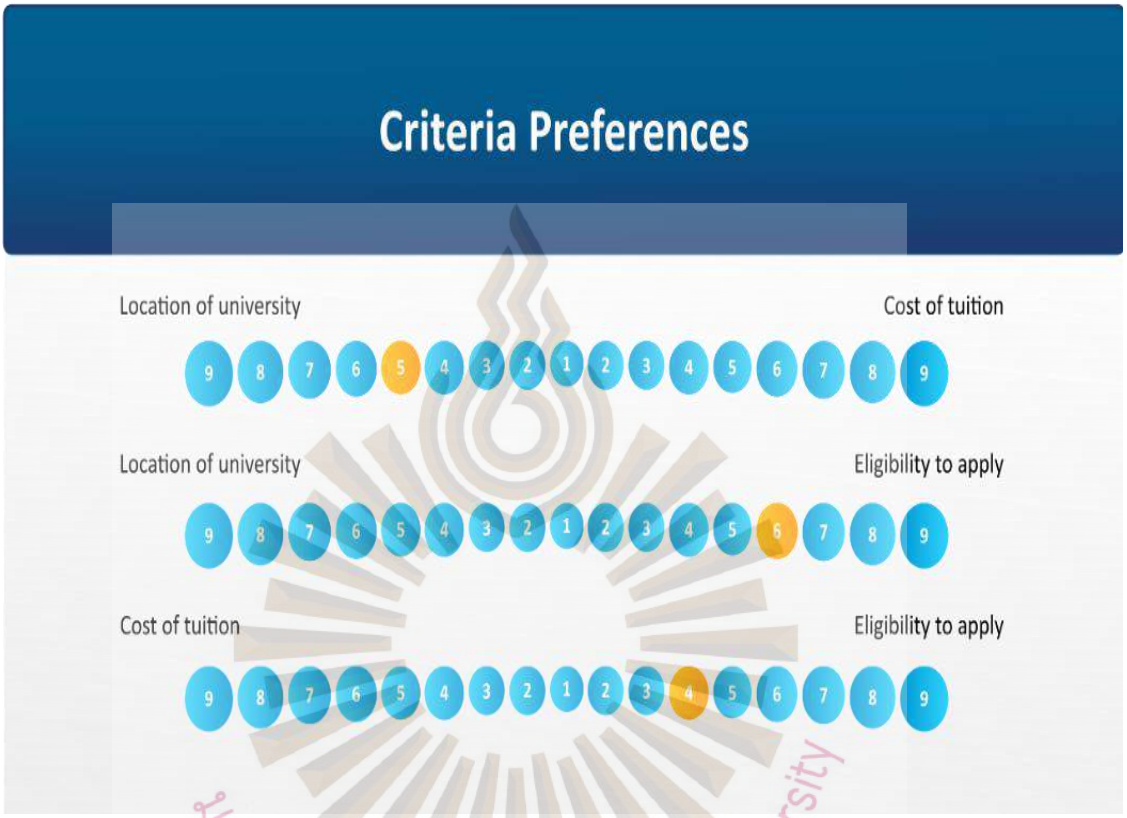
จากรูปที่ 3.3 แสดงการไหลของสารสนเทศของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยระบบจะแสดงข้อมูลจากฐานข้อมูล ได้แก่ ชื่อหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา และรายชื่อมหาวิทยาลัยตามที่ผู้ใช้งานเลือก จากนั้นระบบจะแสดงข้อมูลคู่เทียบของเกณฑ์เพื่อให้ผู้ใช้พิจารณาความพึงพอใจทีละคู่ด้วยค่าคะแนน 1 – 9 และแสดงข้อมูลคู่เทียบของมหาวิทยาลัยเพื่อให้ผู้ใช้พิจารณาความพึงพอใจทีละคู่จนครบ ระบบจึงจะประมวลผลลัพธ์เป็นการจัดอันดับมหาวิทยาลัยจากการคำนวณและแสดงผลให้ผู้ใช้สนับสนุนการตัดสินใจต่อไป

ผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ (User Interface) ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ความคลุมเครือ เริ่มจากผู้ใช้งานเลือกหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาที่ต้องการ เลือกเกณฑ์ที่ต้องการนำมาพิจารณา และเลือกมหาวิทยาลัยที่ต้องการพิจารณาจัดอันดับ ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 แสดงหน้าจอการเลือกหลักสูตร เกณฑ์ และมหาวิทยาลัย

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

ผู้ใช้งานจะสามารถให้คะแนนความพึงพอใจของเกณฑ์ที่นำมาพิจารณาโดยการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยแบ่งเป็น 9 ระดับ ตั้งแต่ 1 – 9 ดังรูปที่ 3.5

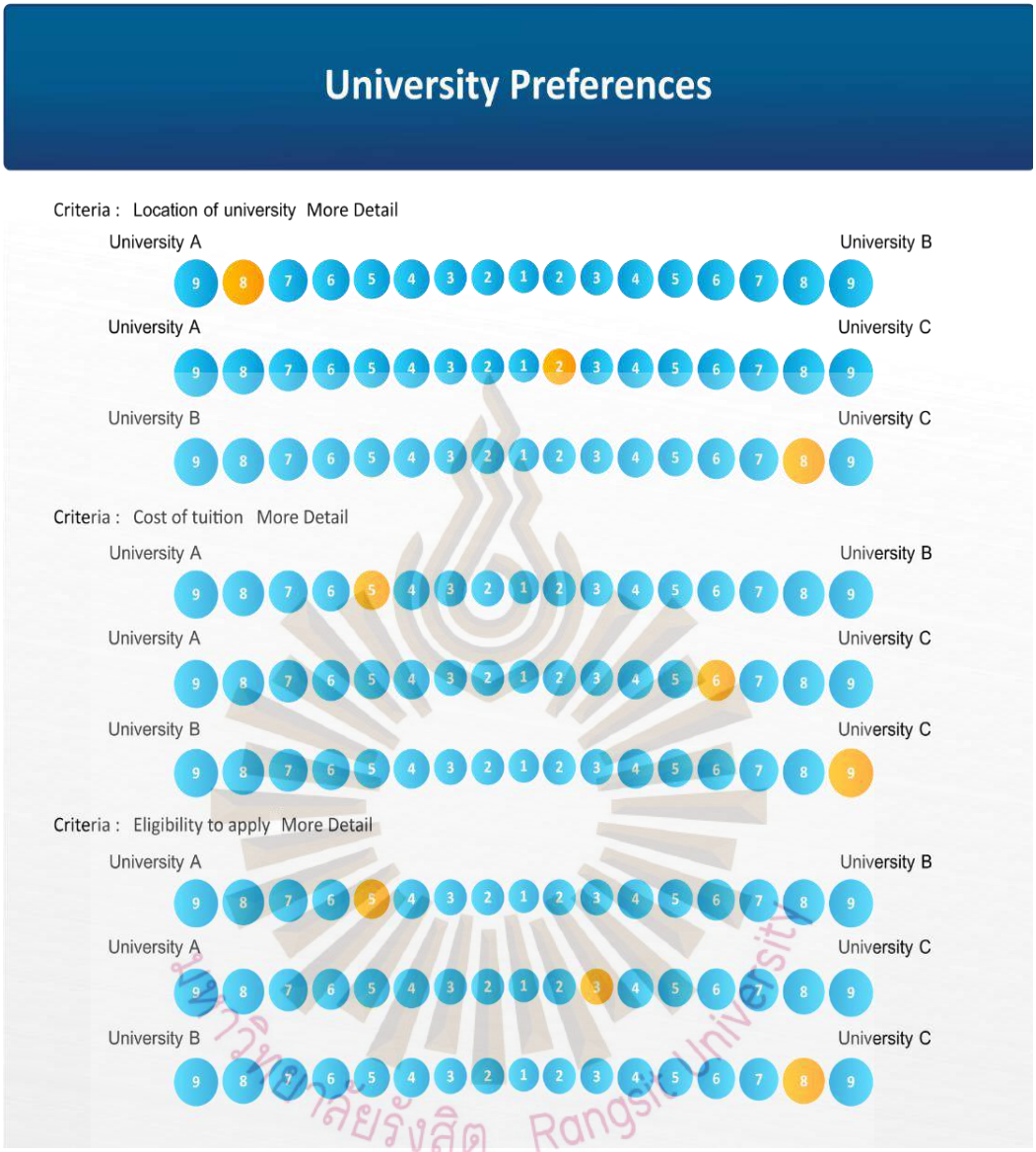


รูปที่ 3.5 แสดงหน้าจอการเลือกระดับความพึงพอใจของเกณฑ์

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

นอกจากนี้ ผู้ใช้งานจะสามารถให้คะแนนความพึงพอใจต่อทางเลือกมหาวิทยาลัยที่เลือกไว้ โดยการเปรียบเทียบความพึงพอใจของทางเลือกมหาวิทยาลัยทีละคู่ตามลำดับเกณฑ์ที่เลือกไว้จนครบ ดังรูปที่ 3.6

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



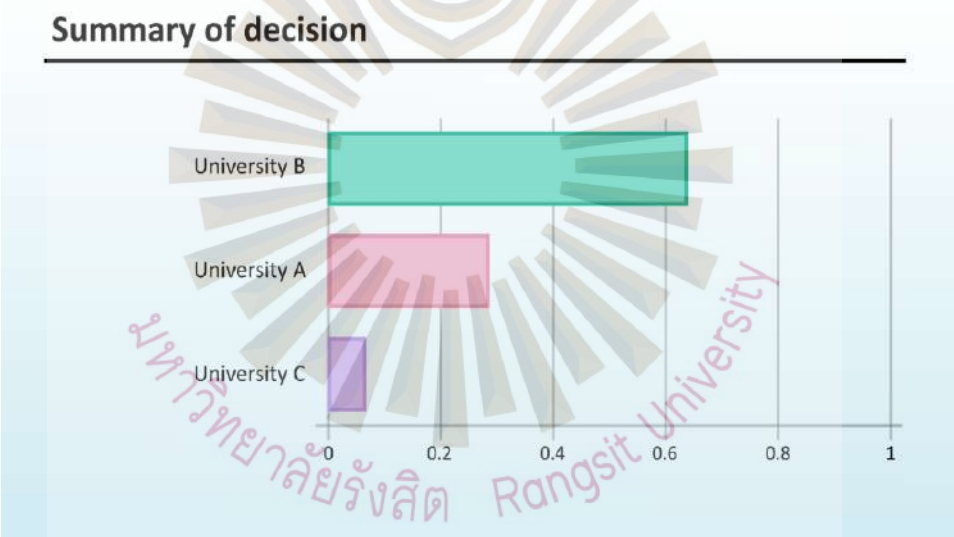
รูปที่ 3.6 แสดงหน้าจอการเลือกระดับความพึงพอใจของมหาวิทยาลัย

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

เมื่อทำการให้ค่าคะแนนความพึงพอใจของเกณฑ์และมหาวิทยาลัยเรียบร้อยแล้ว จากนั้นระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จะทำการคำนวณผลลัพธ์การเรียงอันดับมหาวิทยาลัยโดยใช้ค่าคะแนนที่ผู้ใช้เป็นกำหนดตามความพึงพอใจจากมากไปน้อย และแสดงค่าน้ำหนักของทางเลือกมหาวิทยาลัยแต่ละทางเลือกทางหน้าจอ ดังรูปที่ 3.7 – 3.8

รูปที่ 3.7 แสดงหน้าจอแสดงผลการจัดอันดับทางเลือกมหาวิทยาลัย

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

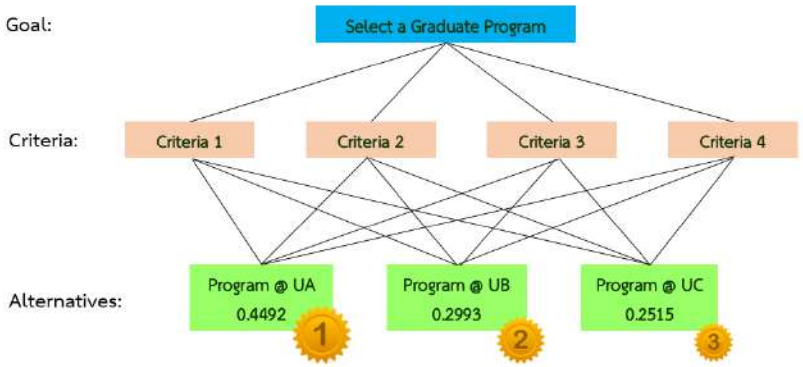


รูปที่ 3.8 แสดงหน้าจอค่าน้ำหนักของทางเลือกมหาวิทยาลัยแต่ละทางเลือก

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

3.6 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้ AHP และ Fuzzy AHP ในการจัดอันดับเกณฑ์

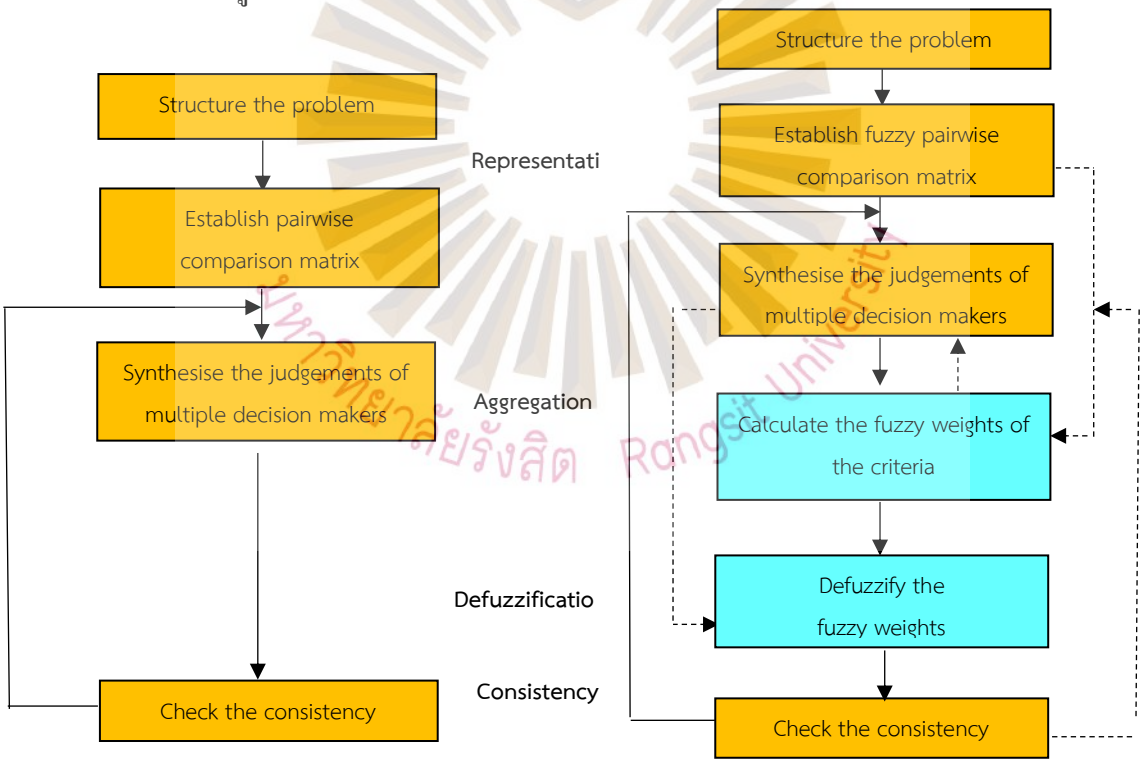
ในการพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ AHP และ Fuzzy AHP เพื่อช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่ชัดเจนและความไม่แน่นอน โดยใช้โครงสร้างของการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ เป้าหมาย (Goal) เกณฑ์ (Criteria) และทางเลือก (Alternative) ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงโครงสร้างของการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

ทั้งนี้ ในการนำกระบวนการ AHP และ Fuzzy AHP มาประยุกต์ใช้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 กระบวนการของ AHP และ Fuzzy AHP ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ที่มา: Yan, Claudia & Christopher, 2020

จากรูปที่ 3.10 แสดงขั้นตอนหลักของ AHP และ Fuzzy AHP ประกอบด้วย 1) การแทนค่าข้อมูล (Representation) 2) การรวมตัว (Aggregation) ด้วยการการเปรียบเทียบแบบคู่และการให้ค่าน้ำหนัก 3) การแปลง Fuzzy Set เป็นผลลัพธ์ (Defuzzification) และ 4) และการตรวจสอบความสอดคล้อง (Consistency)

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (pairwise comparison) ของเกณฑ์

Goal		**Criteria**				
		A_1	A_2	A_3	…	A_n
Criteria	A_1	1	a_{12}	a_{13}	…	a_{1n}
	A_2	$1/a_{12}$	1		…	a_{2n}
	A_3	$1/a_{13}$		1	…	a_{3n}
	.	.	.	.	.	.
	A_n	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	…	1

จากตารางในการวินิจฉัยเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจเปรียบเทียบเกณฑ์ต่างๆ เป็นการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (PairWise Comparison) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเพื่อกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญระหว่างเกณฑ์เป็นคู่ๆ โดยใช้ตัวเลขแทนค่าเพื่อนำไปสู่การคำนวณค่าคะแนนความสำคัญรวมของแต่ละทางเลือก โดยเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pair Wise Comparison) ได้แก่ การใช้ตารางเมตริกซ์

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาจำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ ดังสมการที่ (3-1)

$$N = \left(\frac{n^2-n}{2}\right) \quad (3\text{-}1)$$

เมื่อ N = จำนวนครั้งในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

n = จำนวนปัจจัยที่ถูกนำมาเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ

การวินิฉัยเปรียบเทียบแต่ละคู่เกณฑ์ระหว่างเกณฑ์ Ci กับ Aj นั้น ผู้ทำการตัดสินใจให้ค่าน้ำหนักจะต้องทราบว่าแต่ละเกณฑ์ที่ทำการพิจารณานั้นมีความสำคัญการส่งผลและมีอิทธิพลหรือมีประโยชน์มากกว่าเกณฑ์อื่นที่นำมาเปรียบเทียบในระดับใด ซึ่งการเปรียบเทียบนั้นผู้ทำการพิจารณาต้องแสดงออกในรูปของความหมายที่เป็นคำพูด เช่น น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก มากที่สุด แล้วจึงทำการใช้ตัวเลขแทนค่าเพื่อให้การพิจารณานั้นมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น Thomas Saaty

ได้มีการคิดค้นและคำนวณค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้แทนค่าน้ำหนักในการเปรียบเทียบแต่ละคู่เกณฑ์พบว่า ตัวเลข 1 – 9 นั้นเหมาะสมกับเหตุผลและสะท้อนถึงระดับที่สามารถแยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์ได้ดี โดยได้มีการยกตัวอย่างการเปรียบเทียบทีละคู่ของเกณฑ์การศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จำนวน 4 เกณฑ์ ไว้ดังตารางที่ 3.3 และตัวอย่างการเปรียบเทียบทีละคู่ของทางเลือก จำนวน 3 ทางเลือก สำหรับเกณฑ์ที่ 1 ถึง 4 ดังตารางที่ 3.4 – 3.7 ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของเกณฑ์

Pairwise	Left criteria	Left criteria is more important than right criteria								Equal	Right criteria is more important than left criteria								Right criteria
1	Criteria 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Criteria 2
2	Criteria 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Criteria 3
3	Criteria 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Criteria 4
4	Criteria 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Criteria 3
5	Criteria 2	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Criteria 4
6	Criteria 3	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Criteria 4

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 1

Pairwise	Left criteria	Left criteria is more important than right criteria								Equal	Right criteria is more important than left criteria								Right criteria
1	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UB
2	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC
3	Program @ UB	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตารางที่ 3.5 การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 2

Pairwise	Left criteria	Left criteria is more important than right criteria								Equal	Right criteria is more important than left criteria								Right criteria
1	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UB
2	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC
3	Program @ UB	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 3

Pairwise	Left criteria	Left criteria is more important than right criteria								Equal	Right criteria is more important than left criteria								Right criteria
1	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UB
2	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC
3	Program @ UB	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ 4

Pairwise	Left criteria	Left criteria is more important than right criteria								Equal	Right criteria is more important than left criteria								Right criteria
1	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UB
2	Program @ UA	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC
3	Program @ UB	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Program @ UC

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำแนวทางข้างต้นมาใช้ในการออกแบบกระบวนการทำงานของระบบผู้แนะนำบัณฑิตศึกษา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การจัดอันดับหลักสูตรของมหาวิทยาลัยตัวเลือกให้แก่ผู้ใช้งานพิจารณาตัดสินใจ

3.7 ขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของการใช้ระบบผู้แนะนำ

ผู้วิจัยจะนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้ทดสอบระบบสนใจศึกษาต่อหลักสูตรในระดับที่สูงกว่าปริญญาตรี ด้วยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) โดยเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ได้จำนวนตามต้องการโดยไม่มีหลักเกณฑ์ กลุ่มผู้ทดสอบจะเป็นใครก็ได้ที่สามารถให้ข้อมูลได้ จำนวน 80 คนขึ้นไป

3.8 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP

ผู้วิจัยกำหนดวิธีการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของการใช้งานระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาด้วยเทคนิค AHP และ เทคนิค Fuzzy AHP ตามหลักการประเมินความถูกต้องจากวิธี top-1 และ top-2 เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ความถูกต้องในการแนะนำหลักสูตรที่เหมาะสมเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ทั้งระดับปริญญาโท และ ระดับปริญญาเอก โดยคำนวณได้จากสมการที่ (3-2)

$$\text{System Accuracy} = \frac{Correct\ recommendations}{Total\ recommendations} \text{ x } 100\% \qquad (3\text{-}2)$$

นอกจากนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของข้อมูลการแนะนำเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทและปริญญาเอก ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP โดยใช้ค่าของ F1-Score ประกอบด้วย การคำนวณหาค่า Precision และ Recall ดังนี้

ค่า Precision Score คือ ความแม่นยำของผลทำนาย โดยคำนวณได้จากสมการที่ (3-3) - (3-4)

$$\text{Precision} = \frac{Numer\ of\ relevant\ recommended\ items}{Total\ numer\ of\ relevant\ recommended\ items} \qquad (3\text{-}3)$$

$$\text{Precision} = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives} \qquad (3\text{-}4)$$

ค่า Recall คือ ค่าความแม่นยำที่สนใจผลลัพธ์กับที่เป็นของจริง โดยคำนวณได้จากสมการที่ (3-5)

$$\text{Recall} = \frac{True\ Positives}{Total\ True\ Positives + False\ Negatives} \quad (3\text{-}5)$$

ค่า F1-Score เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพ โดยการนำค่าของ Precision และ Recall มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยคำนวณได้จากสมการที่ (3-6) – (3-7)

$$\text{F1-score} = 2 \text{ x } \frac{Precision\ x\ Recall}{Precision + Recall} \quad (3\text{-}6)$$

$$\text{F1-score} = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + \frac{\text{False Negatives} + False\ Positives}{2}} \quad (3\text{-}7)$$

3.9 ขั้นตอนการสรุปผลการวิจัย

ขั้นตอนสรุปผลการวิจัยเป็นการสรุปผลวิจัยตามวัตถุประสงค์ ดังนี้ 1) ด้านการออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาโดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP และ 2) ด้านการตอบสนองการเลือกเกณฑ์เฉพาะบุคคลของแต่ละผู้ใช้ในระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา รวมถึงอภิปรายผลวิจัย และอธิบายถึงข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัย เรื่อง การออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ โดยการดำเนินงานวิจัย มีการดำเนินงานตามขั้นตอนหลัก ได้แก่ การทบทวนปัญหา การทบทวนงานวรรณกรรม AHP, Fuzzy AHP และระบบผู้แนะนำ การทบทวนและออกแบบเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา การนำเสนอเกณฑ์ที่เลือกใช้ การพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา การประยุกต์ใช้ AHP และ Fuzzy AHP ในการจัดอันดับเกณฑ์ การทดสอบความถูกต้องของการใช้ระบบผู้แนะนำ และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังต่อไปนี้

4.1 ผลการพัฒนาระบบผู้แนะนำบัณฑิตศึกษา

ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์คลุมเครือ มีการจำแนกเกณฑ์สำหรับผู้ใช้งานจำนวน 17 เกณฑ์ (C1 – C17) ดังนี้

C1 มหาวิทยาลัยรัฐ / เอกชน (State/Private University)

C2 ความนิยมของมหาวิทยาลัย (Popularity)

C3 สถานที่ตั้งของมหาวิทยาลัย (Location of University)

C4 ความต้องการในการรับเข้า / คุณสมบัติของผู้สมัคร (Entry Requirements)

C5 ระยะเวลาเรียนตลอดหลักสูตร (Length of Study)

C6 วันและเวลาในการเรียน (Class Time)

C7 ภาษาที่ใช้ในการเรียน (Education Language)

C8 เงื่อนไขการตีพิมพ์เผยแพร่ (Condition of Publications)

C9 คะแนนภาษาอังกฤษ (English Scores)

C10 ความเชี่ยวชาญของบุคลากรสายวิชาการ (Academic Staff)

C11 สิ่งสนับสนุนด้านเทคโนโลยีของหลักสูตร (Technological Facilities)

C12 เครือข่ายกับมหาวิทยาลัยในต่างประเทศ (Connection with foreign universities)

C13 ค่าใช้จ่ายตลอดหลักสูตร (Cost of Program)

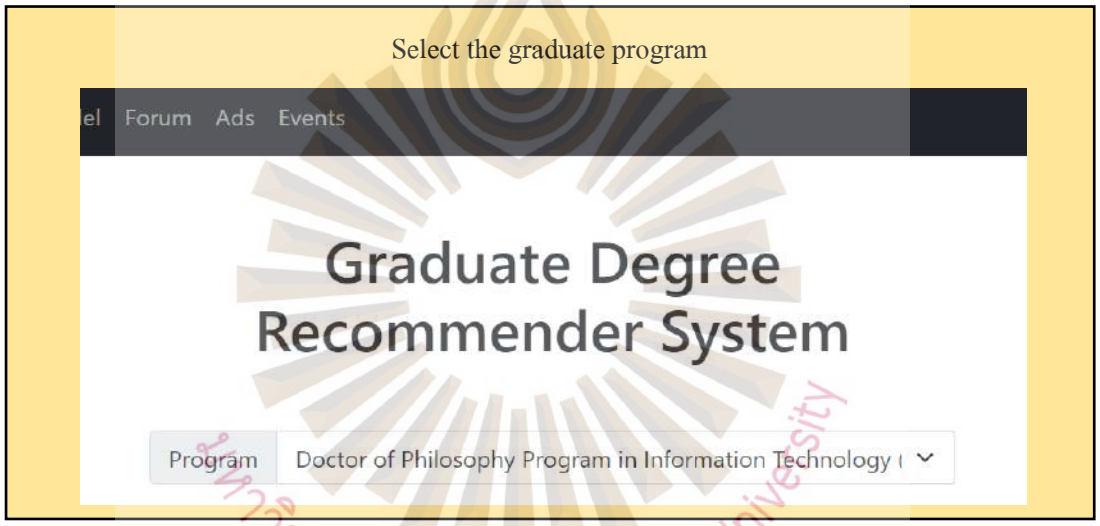
C14 ทุนการศึกษา (Scholarship Opportunities)

C15 โปรโมชันหรือส่วนลด (Promotion or Discount)

C16 ค่าใช้จ่ายในการสมัคร (Application Fee)

C17 ขั้นตอนการรับสมัคร (Admission Processes)

โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกหลักสูตรในระดับบัณฑิตศึกษาที่สนใจ ทั้งระดับปริญญาโทและปริญญาเอก ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.1

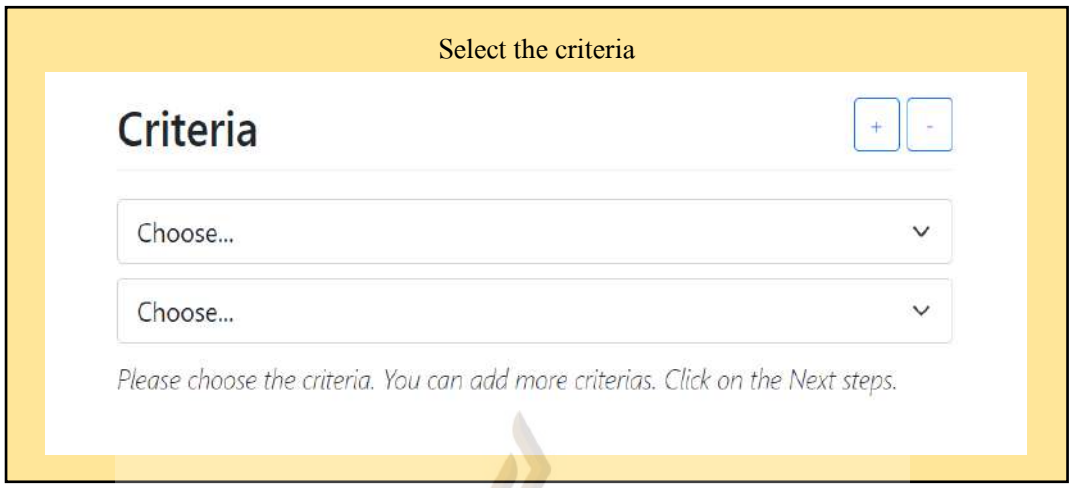


รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการเลือกหลักสูตรในระดับบัณฑิตศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

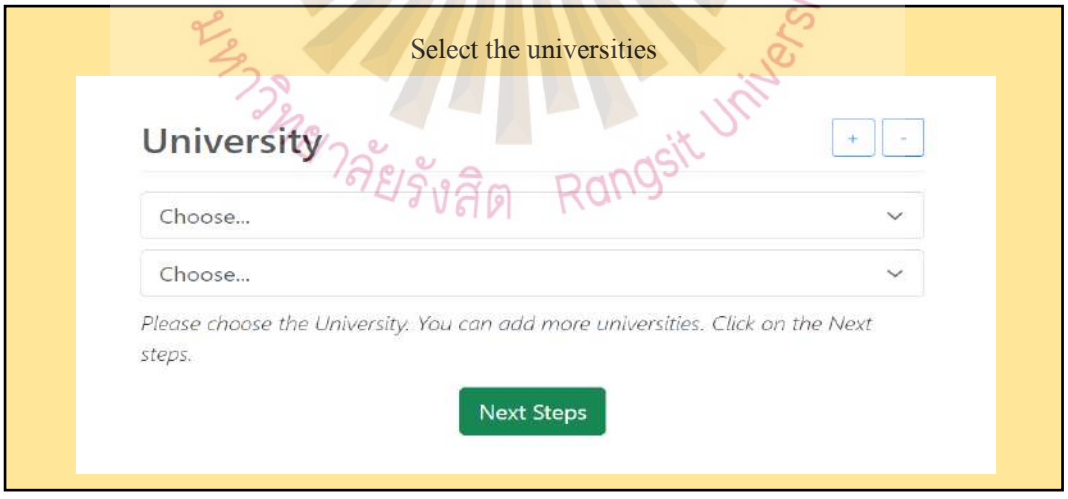
จากนั้นผู้ใช้งานสามารถเลือกเกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจได้หลายเกณฑ์ตามความสนใจในรูปแบบที่เป็นพลวัต (Dynamic Multi-criteria) โดยสามารถเพิ่ม (+) หรือลด (-) จำนวนเกณฑ์ได้ตามความต้องการโดยไม่ถูกจำกัดจากระบบ โดยมีค่าตั้งต้น (Default) อย่างน้อย 2 เกณฑ์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



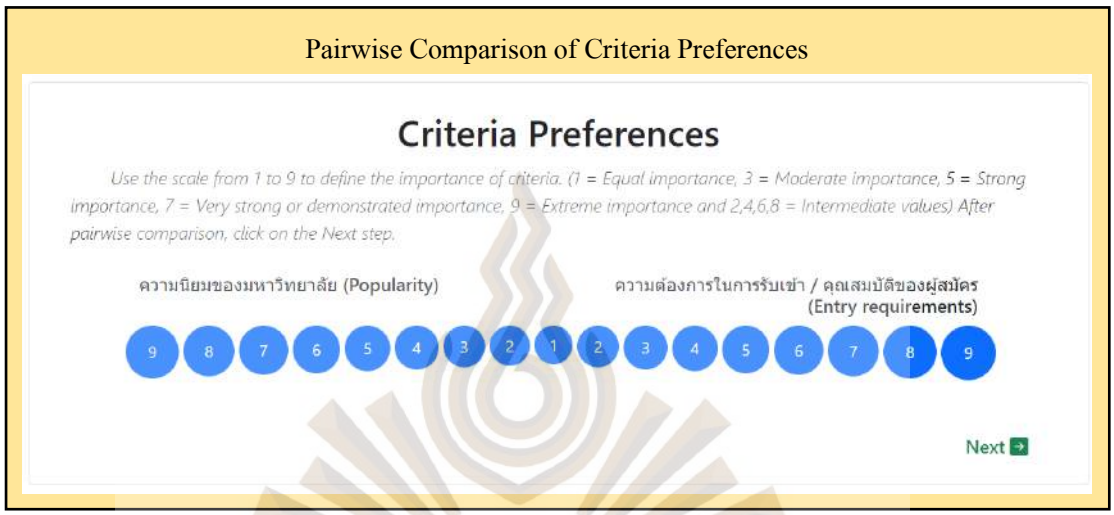
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการเลือกเกณฑ์การพิจารณาในรูปแบบที่เป็นพลวัต (Dynamic Multi-criteria)
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

ขั้นตอนต่อมาผู้ใช้งานสามารถเลือกทางเลือกมหาวิทยาลัยที่สนใจตามหลักสูตรที่เลือกไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า โดยทางเลือกดังกล่าวเป็นทางเลือกที่มีความแตกต่างกันและมีหลายทางเลือก ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเพิ่ม (+) หรือลด (-) จำนวนทางเลือกได้ตามความต้องการ โดยไม่ถูกจำกัดจากระบบ โดยมีค่าตั้งต้น (Default) อย่างน้อย 2 มหาวิทยาลัย ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.3



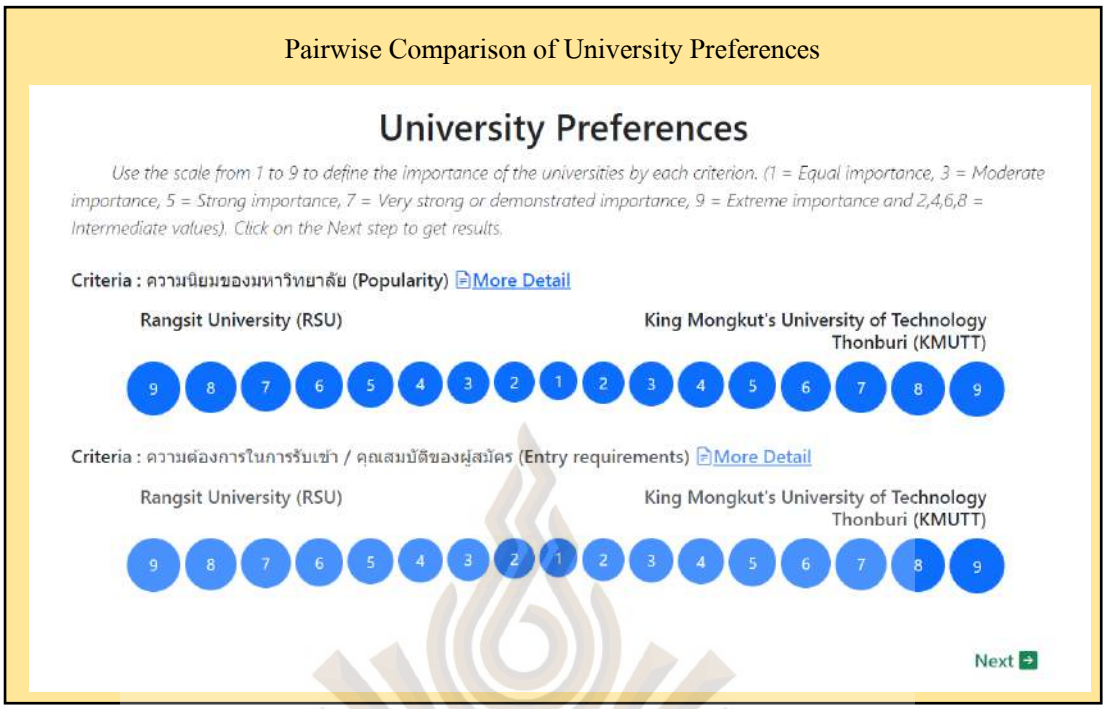
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการเลือกทางเลือกมหาวิทยาลัย
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

จากนั้นผู้ใช้งานจะทำการให้คะแนนความพึงพอใจของเกณฑ์ที่นำมาพิจารณาโดยการเปรียบเทียบรายคู่ (Pairwise Comparison) เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญของเกณฑ์ในการตัดสินใจ โดยแบ่งเป็น 9 ระดับ ตั้งแต่ 1 – 9 ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการให้คะแนนความพึงพอใจของเกณฑ์ (Criteria Preferences)
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

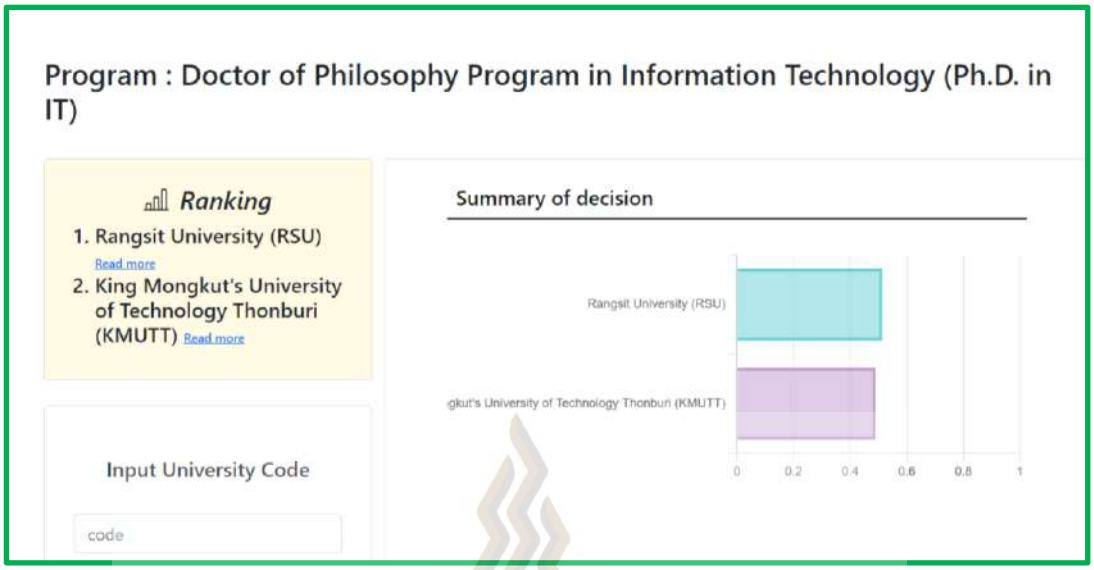
ขั้นตอนสุดท้าย ผู้ใช้งานจะให้คะแนนความพึงพอใจต่อทางเลือกมหาวิทยาลัยที่เลือกไว้ โดยการเปรียบเทียบรายคู่เช่นเดียวกับการให้คะแนนความพึงพอใจเกณฑ์ในขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญของทางเลือกในการตัดสินใจ หากมีการพิจารณาเกณฑ์ที่สนใจ จำนวน 2 เกณฑ์ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องเปรียบเทียบความพึงพอใจของทางเลือกมหาวิทยาลัยทีละคู่ตามลำดับเกณฑ์ที่เลือกไว้จนครบ ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการให้คะแนนความพึงพอใจของทางเลือกมหาวิทยาลัย (University Preferences)
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

ทั้งนี้ ในขั้นตอนการให้คะแนนความพึงพอใจของเกณฑ์ และขั้นตอนการให้คะแนนความพึงพอใจของทางเลือกมหาวิทยาลัย ระบบจะทำการคำนวณค่าความสอดคล้อง (Consistency) จากผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละเกณฑ์มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถวและเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด หากผลลัพธ์ที่คำนวณได้น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะแสดงผลให้ผู้ใช้งานพิจารณาให้คะแนนความพึงพอใจโดยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ใหม่อีกครั้ง จนกว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อแสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบมีความสมเหตุสมผลกัน โดยใช้สมการที่ (2-2) และ อ้างอิง ค่า RI ให้เป็นไปตามเกณฑ์ ดังตารางที่ 2-6 ในบทที่ 2

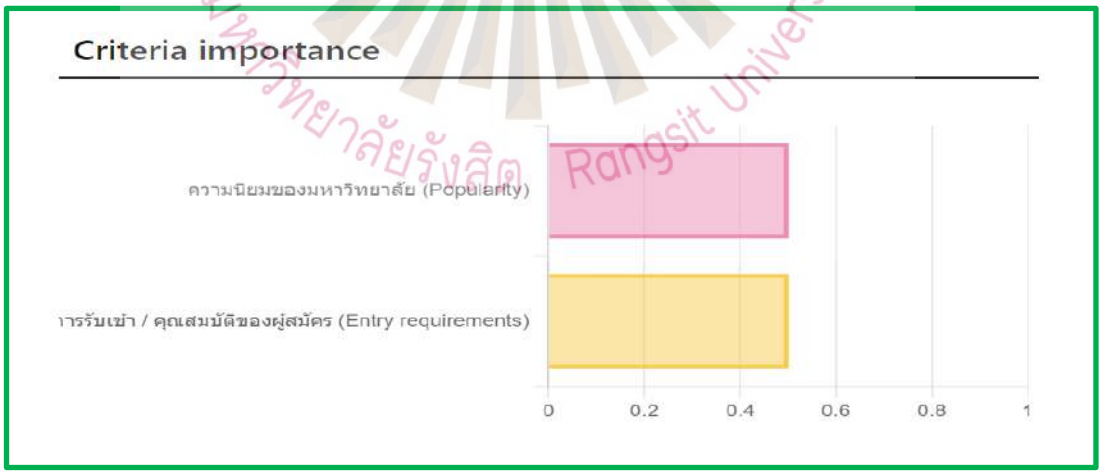
เมื่อผู้ใช้งานดำเนินการครบทุกขั้นตอนแล้ว ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา จะทำการแสดงผลลัพธ์ของอันดับหาวิทยาลัยที่เลือกไว้ จากการคำนวณค่าความพึงพอใจโดยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ และแสดงผลอันดับทางเลือกจากกราฟ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงหน้าจอการจัดอันดับทางเลือกมหาวิทยาลัย และ ผลลัพธ์ของแต่ละทางเลือก

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

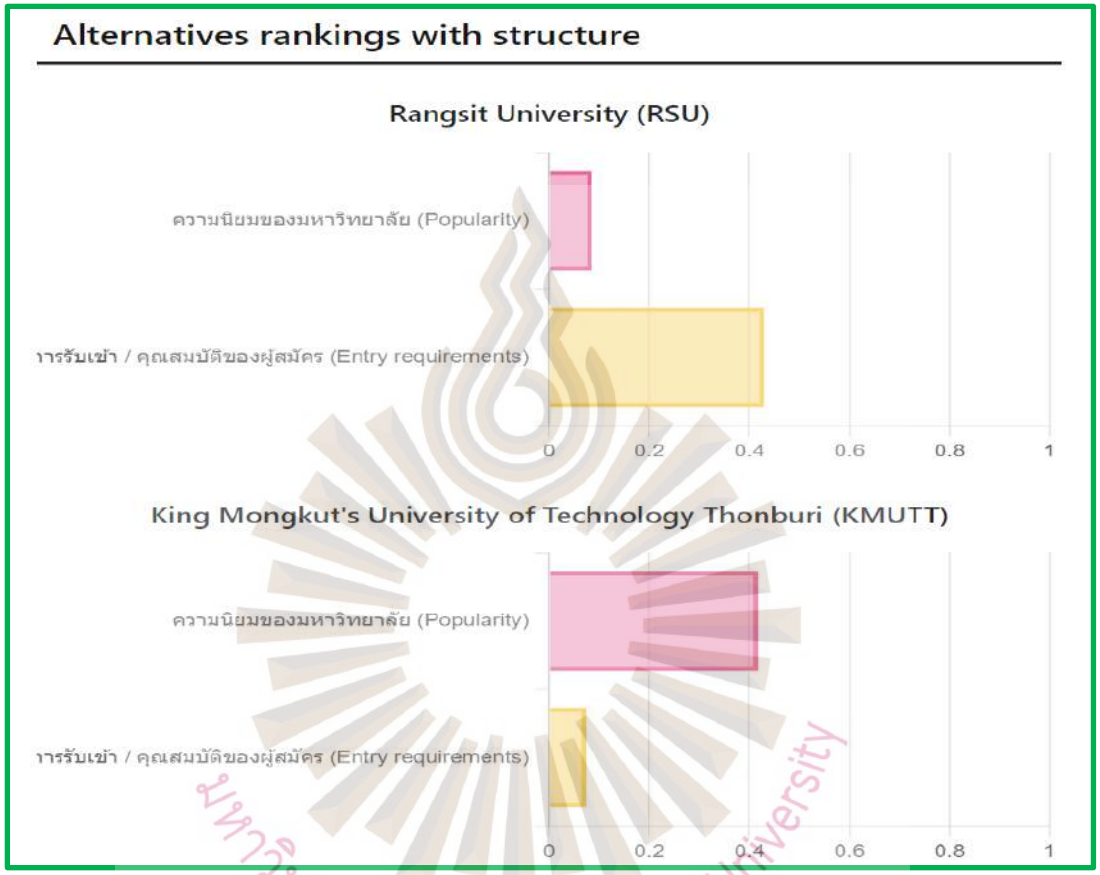
ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาสามารถแสดงผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์ตามที่ผู้ใช้งานให้คะแนนความพึงพอใจโดยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ เพื่อใช้ในการพิจารณาผลลัพธ์อันดับมหาวิทยาลัยจากค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่ได้เลือกไว้ ดังตัวอย่างรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงหน้าจอผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

นอกจากนี้ ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาสามารถแสดงผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์แยกตามทางเลือกมหาวิทยาลัยเรียงตามอันดับที่ได้จากการคำนวณ เพื่อใช้ในการพิจารณาผลลัพธ์อันดับมหาวิทยาลัย ดังตัวอย่างรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงหน้าจอผลลัพธ์ค่าน้ำหนักของเกณฑ์แยกตามทางเลือกมหาวิทยาลัย
ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

โดยสรุป ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาช่วยตอบสนองผู้ใช้งานในการเลือกเกณฑ์ที่มีความหลากหลายจำนวน 17 เกณฑ์ โดยผู้ใช้สามารถเลือกใช้เกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจได้หลายเกณฑ์ตามความสนใจ ภายหลังจากผู้ใช้งานทำการให้คะแนนความพึงพอใจ โดยการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ครบทุกเกณฑ์และทุกทางเลือก โดยมีค่าความสอดคล้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นระบบจะทำการคำนวณในการจัดอันดับทางเลือกมหาวิทยาลัยเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจให้แก่ผู้ใช้งาน

4.2 ผลลัพธ์ทางสถิติเชิงพรรณนา

จากการทดลองใช้งานระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยกลุ่มผู้ทดลอง จำนวน 80 คน ได้ผลลัพธ์ทางสถิติที่จำแนกข้อมูลตามเพศ (Gender) อายุ (Age) ระดับการศึกษา (Education Level) สถาบันการศึกษา (Users of Institutions) ระดับการศึกษาที่ค้นหา (Seeking Degree) และสถาบันการศึกษาที่เข้าศึกษาต่อ (Students Admitted Graduate Degrees of Institutions)

ผู้ทดลองใช้งาน แบ่งออกเป็น เพศชาย 73.75% เพศหญิง 26.25% อายุส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 32 – 41 ปี คิดเป็น 42.50% สนใจศึกษาต่อระดับการศึกษาโท คิดเป็น 63.75% และระดับปริญญาเอก คิดเป็น 36.35% โดยกลุ่มผู้ทดลองใช้งานมาจากสถาบันการศึกษา (นามสมมุติ) จำนวน 8 แห่ง ได้แก่ UA 25% UB 20% UC 3.75% UD 6.25% UE 23.75% UF 5% UG 3.75% และ UH 12.50% ตามลำดับ รวมถึงผู้ทดลองใช้งานกลุ่มดังกล่าวได้เข้าศึกษาระดับปริญญาเอก 36.25% และระดับปริญญาโท 63.75% จากสถาบันการศึกษาต่างๆ เรียงตามลำดับ ดังนี้ UA 18.75% UB 15.0% UE 17.50% และ UE 12.50% ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์ทางสถิติเชิงพรรณนาของกลุ่มผู้ทดลองใช้งาน

Items	Description	Sample	%
Gender	Male	59	73.75
	Female	21	26.25
Age	22–31	24	30.00
	32–41	34	42.50
	42–51	19	23.75
	>52	3	3.75
Users of Institutions	UA	20	25.00
	UB	16	20.00
	UC	3	3.75
	UD	5	6.25
	UE	19	23.75
	UF	4	5.00
	UG	3	3.75
	UH	10	12.50

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์ทางสถิติเชิงพรรณนาของกลุ่มผู้ทดลองใช้งาน (ต่อ)

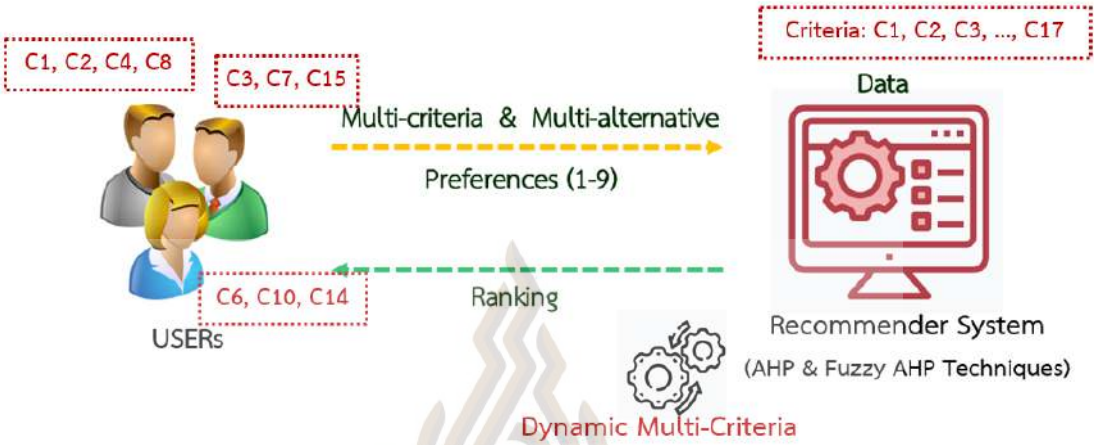
Items	Description	Sample	%
Seeking Degree	PhD	29	36.25
	MS	51	63.75
Students Admitted Graduate Degrees of Institutions	PHD-UA	5	6.25
	PHD-UB	4	5.00
	PHD-UC	3	3.75
	PHD-UD	5	6.25
	PHD-UE	5	6.25
	PHD-UF	4	5.00
	PHD-UG	3	3.75
	PHD-UH	0	0
	MS-UA	15	18.75
	MS-UB	12	15.00
	MS-UE	14	17.50
	MS-UH	10	12.50

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

4.3 ผลลัพธ์การเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัตของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาช่วยตอบสนองผู้ใช้งานในการเลือกเกณฑ์ที่มีความหลากหลาย โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกจำนวนเกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจได้ตามที่ต้องการ ทำให้ผู้ใช้งานแต่ละคนมีจำนวนเกณฑ์และชนิดของเกณฑ์ที่แตกต่างกัน เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการรายบุคคลโดยไม่ถูกจำกัดจากระบบ หรือที่เรียกว่า การเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Multi-Criteria) โดยประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจ จำนวน 17 เกณฑ์ ได้แก่ ความต้องการในการรับเข้า ระยะเวลาเรียนตลอดหลักสูตร วันและเวลาในการเรียน ภาษาที่ใช้ในการเรียน เงื่อนไขการตีพิมพ์เผยแพร่ คะแนนภาษาอังกฤษ ความเชี่ยวชาญของบุคลากรสายวิชาการ สิ่งสนับสนุนด้านเทคโนโลยีของหลักสูตร เครือข่ายกับมหาวิทยาลัยในต่างประเทศ

ค่าใช้จ่ายตลอดหลักสูตร ทุนการศึกษา โปรโมชันหรือส่วนลด ค่าใช้จ่ายในการสมัคร และ ขั้นตอนการรับสมัคร ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงรูปแบบการเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Multi-Criteria) ของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Multi-Criteria) ของกลุ่มผู้ทดลองใช้งาน

Users	Criteria																
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
11	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
…																	
80	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

จากตารางที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการเลือกใช้การเลือกใช้เกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Multi-Criteria) ของกลุ่มผู้ทดลองใช้งาน โดย 1 หมายถึงเกณฑ์ที่ผู้ใช้งานเลือก และ 0 หมายถึง เกณฑ์ที่ผู้ใช้งานไม่ได้เลือก โดยผลลัพธ์จำนวนเกณฑ์ที่ถูกเลือกเรียงจากมากไปน้อย สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์การเรียงลำดับของเกณฑ์ที่ถูกเลือกใช้

Criteria Code	Criteria	Count	Percent
C2	Popularity/University reputation	17	13.7097
C10	Academic staff	16	12.9032
C13	Cost of program/Tuition fees/Cost of tuition	14	11.2903
C1	State/Private university	13	10.4839
C6	Class time/Flexibility of timetable	12	9.6774
C3	Location of university	9	7.2581
C4	Entry requirements/Eligibility to apply	8	6.4516
C8	Condition of publications/Programs offered	8	6.4516
C14	Scholarship opportunities/Financial assistance	6	4.8387
C9	English scores	6	4.8387
C11	Technological facilities	4	3.2258
C15	Promotion or discount	4	3.2258
C17	Admission processes	3	2.4194
C7	Education language	2	1.6129
C5	Length of study/Course duration	2	1.6129
C12	Connection with foreign universities	0	0
C16	Application fee	0	0
		Total	100

จากตารางที่ 4.3 พบว่าผลลัพธ์ของเกณฑ์ที่ถูกเลือกใช้เรียงลำดับจากมากสุดไปหาน้อยสุด พบว่า เกณฑ์ที่ถูกเลือกมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ความนิยมของมหาวิทยาลัย (Popularity) คิดเป็น 13.71% ความเชี่ยวชาญของบุคลากรสายวิชาการ (Academic staff) คิดเป็น 12.90% และค่าใช้จ่ายตลอดหลักสูตร (Cost of program) คิดเป็น 11.29%

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ทั้งนี้ ผู้ใช้งานแต่ละคนสามารถเลือกพิจารณาเกณฑ์และทางเลือกของการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยสามารถเลือกพิจารณาแบบหลายเกณฑ์และหลายทางเลือก โดยมีค่าความสอดคล้องผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (CR<0.1) ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการเลือกพิจารณาแบบหลายเกณฑ์และหลายทางเลือกของกลุ่มผู้ใช้งาน และค่าความสอดคล้อง (CR)

No.	Criteria_Code	Alternatives_Code	CR
1	**C2 C4 C7 C15**	UA UB UE	0.0115
2	**C6 C8 C13**	UA UC UE	0.0000
3	**C2 C3 C13**	UA UB UD UE	0.0750
4	**C6 C8 C13**	UA UC UE	0.0750
5	**C2 C3 C13**	UA UB UE	0.0000
6	**C2 C3 C10**	UA UB UD	0.0618
7	**C2 C3 C13**	UA UB UE	0.0000
8	**C2 C6 C14**	UA UB UC	0.0000
9	**C6 C8 C13**	UA UB UE	0.0213
10	**C2 C6 C14**	UA UB UC	0.0017
11	**C2 C6 C14**	UA UB UC	0.0826
12	**C1 C6 C13**	UC UD UE	0.0467
13	**C6 C10 C13**	UD UF UG	0.0000
14	**C3 C4 C10**	UD UF UG	0.0532
15	**C1 C6 C13**	UC UD UE	0.0048
16	**C3 C5 C6 C10 C11**	UB UC UE	0.0153
17	**C2 C6 C14**	UA UB UE	0.0826
18	**C1 C2 C3**	UA UB UD UE	0.0158
19	**C2 C10 C11**	UD UF UG	0.0301
20	**C2 C3 C13**	UD UF UG	0.0925

หมายเหตุ

C หมายถึง เกณฑ์ (Criteria) เช่น C1 หมายถึง เกณฑ์ที่ 1

U หมายถึง มหาวิทยาลัย (University) เช่น UA หมายถึง มหาวิทยาลัย A ดังรูปที่ 3.9 ในบทที่ 3

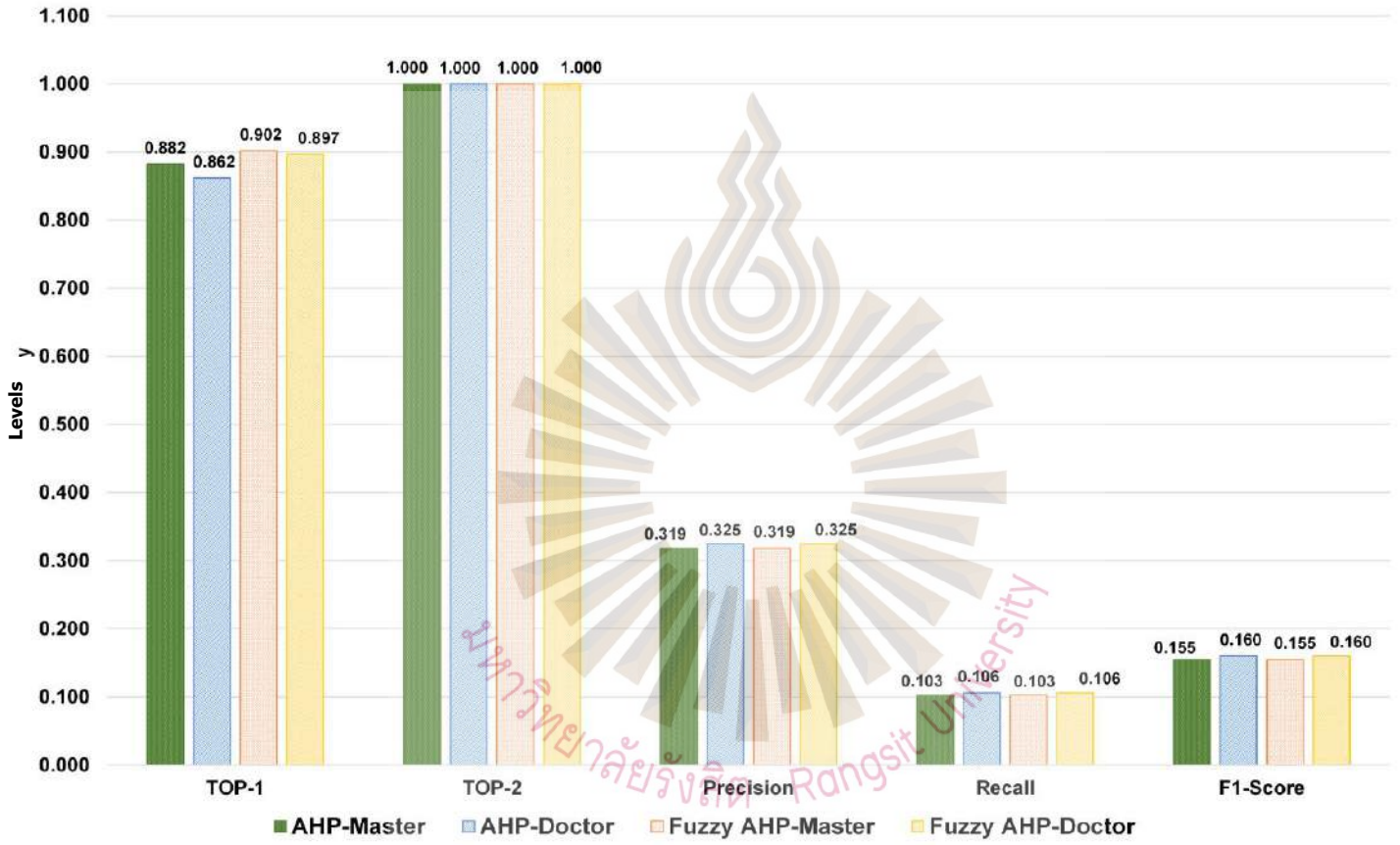
จากตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างการพิจารณาแบบหลายเกณฑ์ (Multi-criteria) และ หลายทางเลือก (Multi-Alternative) ของกลุ่มผู้ทดลองใช้งาน จำนวน 20 คน โดยมีค่าความสอดคล้องของข้อมูล (CR < 0.1) ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้ ผู้ใช้งานสามารถเลือกเกณฑ์ที่สนใจได้โดยไม่จำกัด และเลือกทางเลือกมหาวิทยาลัยได้ตามความสนใจเช่นเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานมีอิสระในการตัดสินใจภายใต้เงื่อนไขของความต้องการแต่ละบุคคล

4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ความถูกต้องของ AHP และ Fuzzy AHP

จากข้อมูลที่ได้จากกลุ่มผู้ทดลองใช้งานระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา จำนวน 80 คน ผู้วิจัยได้มีการวัดประสิทธิภาพความถูกต้องของการใช้งานระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาด้วยเทคนิค AHP และ เทคนิค Fuzzy AHP ตามหลักการประเมินความถูกต้องจากวิธี top-1 top-2 เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ความถูกต้องในการแนะนำหลักสูตรที่เหมาะสมเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา ทั้งระดับปริญญาโท และ ระดับปริญญาเอก แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 โดยคำนวณได้จากสมการที่ (4-1)

$$\text{System Accuracy} = \frac{Correct\ recommendations}{Total\ recommendations} \text{ x } 100\% \qquad (4\text{-}1)$$

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง Top-1 Top-2 precision recall และ F1-Score ของเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP ในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่าความถูกต้อง Top-1 ของข้อมูลการแนะนำเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท โดยเทคนิค AHP มีค่าความถูกต้องคิดเป็น 88.2% และเทคนิค Fuzzy AHP มีค่าความถูกต้องคิดเป็น 90.2% ซึ่งสูงกว่าเทคนิค AHP และค่าความถูกต้อง Top-1 ของข้อมูลการแนะนำเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาเอก โดยเทคนิค AHP มีค่าความถูกต้องคิดเป็น 86.2% และเทคนิค Fuzzy AHP มีค่าความถูกต้องคิดเป็น 89.7% ซึ่งสูงกว่าเทคนิค AHP เพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับค่าความถูกต้องของข้อมูลการแนะนำเข้าต่อระดับปริญญาโท ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความถูกต้องวิธี Top-1

Top-1	Master	Doctor
AHP	88.2%	86.2%
Fuzzy AHP	90.2%	89.7%

นอกจากนี้ พบว่าค่าความถูกต้อง Top-2 ของข้อมูลการแนะนำเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทและปริญญาเอก โดยเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP มีค่าความถูกต้องคิดเป็น 100% เช่นเดียวกัน ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความถูกต้องวิธี Top-2

Top-1	Master	Doctor
AHP	100%	100%
Fuzzy AHP	100%	100%

ทั้งนี้ ในการเปรียบประสิทธิภาพความแม่นยำของข้อมูลการแนะนำเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทและปริญญาเอก โดยเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP ได้ใช้ค่าของ F1-Score ประกอบด้วยการคำนวณหาค่า Precision และ Recall ดังนี้

ค่า Precision Score คือ ความแม่นยำของผลทำนาย โดยคำนวณได้จากสมการที่ (4-2)-(4-3)

$$\text{Precision} = \frac{Numer\ of\ relevant\ recommended\ items}{Total\ numer\ of\ relevant\ recommended\ items} \quad (4\text{-}2)$$

$$\text{Precision} = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives} \quad (4\text{-}3)$$

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ค่า Recall คือ ค่าความแม่นยำที่สนใจผลลัพธ์กับที่เป็นของจริง โดยคำนวณได้จากสมการที่ (4-4)

$$\text{Recall} = \frac{True\ Positives}{Total\ True\ Positives + False\ Negatives} \quad (4\text{-}4)$$

ค่า F1-Score เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพ โดยการนำค่าของ Precision และ Recall มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยคำนวณได้จากสมการที่ (4-5) – (4-6)

$$\text{F1-score} = 2 \times \frac{Precision\ x\ Recall}{Precision + Recall} \quad (4\text{-}5)$$

$$\text{F1-score} = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + \frac{\text{False Negatives} + False\ Positives}{2}} \quad (4\text{-}6)$$

จากรูปที่ 4.10 พบว่าค่า F1-Score ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของข้อมูลการแนะนำเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทและปริญญาเอก โดยเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP ที่ได้รับทั้ง 4 วิธี แสดงให้เห็นความแตกต่างเล็กน้อย โดย F1-Score ของข้อมูลการแนะนำเข้าศึกษาต่อโดยใช้เทคนิค Fuzzy AHP สูงกว่าเทคนิค AHP เพียงเล็กน้อย ทั้งในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าความแม่นยำและการเรียกคืนเกือบจะสมดุลกัน

อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และประเมินผลเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์เหล่านี้ และรับรองความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบผู้แนะนำต่อไป จะเห็นได้ว่าในรูปที่ 4.10 ค่า Precision Recall และ F1-Score มีค่าต่ำกว่า 0.4 อาจเนื่องมาจากการเลือก Fuzzy Membership Function และ Degree of Fuzziness ที่ยังไม่เหมาะสมกับข้อมูล จึงต้องทำการทดลองเพิ่มต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ด้านการออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาโดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP

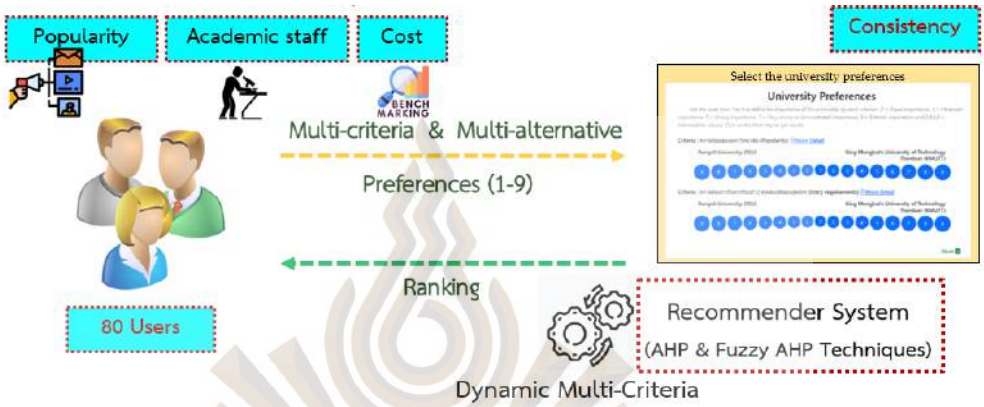
ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา ได้นำเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP มาประยุกต์ใช้ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์และมีโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งสอดคล้องกับคุณลักษณะที่ต้องการของระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยเทคนิค AHP ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าคะแนนความสำคัญมาพิจารณาเกณฑ์และทางเลือกตามความพึงพอใจ ด้วยการเปรียบเทียบทีละคู่ และพิจารณาความสมเหตุสมผลของข้อมูลที่เปรียบเทียบจากค่าความสอดคล้อง เพื่อเรียงลำดับทางเลือกจากค่าคะแนนที่คำนวณได้ตามลำดับ ทั้งนี้ เทคนิค Fuzzy AHP มีวิธีการคำนวณเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจจากคะแนนความพึงพอใจโดยการเปรียบเทียบทีละคู่ตามกระบวนการของ AHP โดยใช้ Fuzzy Set มาช่วยในการให้ค่าน้ำหนักหรือจัดลำดับความสำคัญในการพิจารณาทางเลือก เพื่อให้ได้ค่าที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จึงสามารถสนับสนุนการตัดสินใจในรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน

จากการวิจัยพบว่าระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาที่ต้องการ เลือกเกณฑ์ที่ต้องการนำมาพิจารณา และเลือกมหาวิทยาลัยที่ต้องการพิจารณาจัดอันดับ โดยระบบสามารถทำการคำนวณผลลัพธ์เพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยโดยใช้ค่าคะแนนที่ผู้ใช้เป็นกำหนดตามความพึงพอใจ โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP ในการเปรียบเทียบแบบคู่และการให้ค่าน้ำหนัก รวมถึงมีการตรวจสอบความสอดคล้อง ซึ่งจากผลการทดลองใช้งานมีค่าความสอดคล้องผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการทดลองใช้งานของผู้ใช้จำนวน 80 คน พบว่าเกณฑ์ที่ถูกเลือกมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ความนิยมของมหาวิทยาลัย ความเชี่ยวชาญของบุคลากรสายวิชาการ และ ค่าใช้จ่ายตลอด

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

หลักสูตร โดยทางหลักสูตรสามารถนำไปเป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์ เช่น การประชาสัมพันธ์หลักสูตรให้เป็นที่รู้จัก การสนับสนุนการทำวิจัยและสนับสนุนงบประมาณในการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยเพื่อให้ผลงานวิชาการเป็นที่ยอมรับ และการจัดหาคู่เทียบด้านค่าใช้จ่ายของหลักสูตร เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1

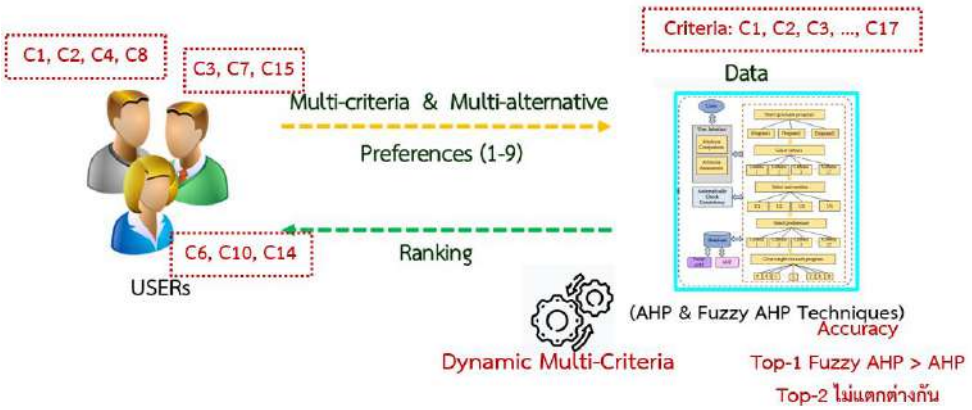


รูปที่ 5.1 แสดงผลวิจัยด้านการออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

5.1.2 ด้านการตอบสนองการเลือกเกณฑ์เฉพาะบุคคลของแต่ละผู้ใช้ในระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

ระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาช่วยตอบสนองผู้ใช้งานในการเลือกเกณฑ์ที่มีความหลากหลายจำนวน 17 เกณฑ์ โดยผู้ใช้สามารถเลือกจำนวนเกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินใจได้หลายเกณฑ์ตามความสนใจในรูปแบบที่เป็นพลวัต ส่งผลให้ผู้ใช้แต่ละคนมีจำนวนเกณฑ์และชนิดของเกณฑ์ที่แตกต่างกันเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการรายบุคคลโดยไม่ถูกจำกัดจากระบบ ซึ่งระบบจะทำการคำนวณด้วยเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP เพื่อเรียงลำดับทางเลือกจากค่าคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้ ทั้งนี้ จากการตรวจสอบค่าความถูกต้องโดยการทดสอบด้วยวิธี Top-1 แสดงให้เห็นว่าเทคนิค Fuzzy AHP มีค่าความถูกต้องสูงกว่า AHP แต่การทดสอบด้วยวิธี Top-2 ถือว่าไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.2



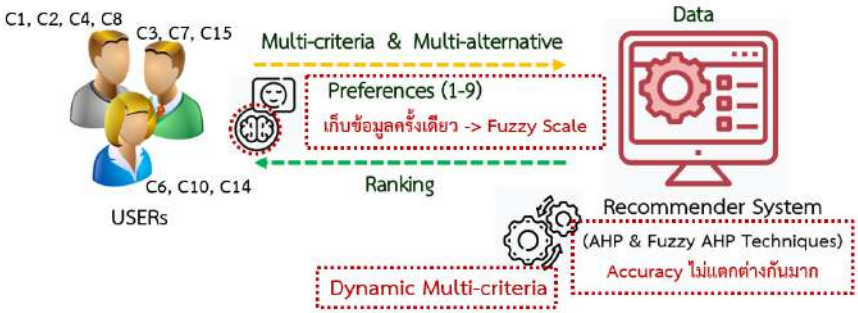
รูปที่ 5.2 แสดงผลวิจัยด้านการออกแบบและพัฒนาระบบผู้แนะนำการเข้าศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา โดยใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 ด้านเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP สำหรับระบบผู้แนะนำผ่านมุมมองด้านการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา

งานวิจัยนี้พบแนวทางการประยุกต์ใช้เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP ในระบบผู้แนะนำผ่านมุมมองด้านการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษาที่มีการพิจารณาหลายเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Multi-criteria) ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดค่าคะแนนความพึงพอใจของเกณฑ์ที่ถูกเลือกให้แก่ระบบด้วยวิธีการเก็บข้อมูลครั้งเดียวจากผู้ใช้งาน เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทั้ง 2 เทคนิค โดยพบว่าค่าความถูกต้องแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากในการพิจารณากำหนดค่าคะแนนความพึงพอใจมีโอกาสเกิดความไม่แน่นอนค่อนข้างน้อย ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากผู้ใช้งานมักมีการพิจารณาด้วยหลักเหตุผลมากกว่าอารมณ์ความรู้สึก ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ด้านเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP สำหรับระบบผู้แนะนำ

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

จากสรุปข้างต้นสะท้อนให้เห็นว่าเทคนิค Fuzzy AHP สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในมุมมองของมหาวิทยาลัยหรือสถานศึกษาได้ เช่นเดียวกับ Daniel & Friday (2016) ที่นำเทคนิค Fuzzy AHP ไปใช้ในการคัดเลือกบุคลากรสายวิชาการของมหาวิทยาลัยซึ่งต้องอาศัยเกณฑ์หลายข้อในการพิจารณาจ้างงาน อาทิ ประสบการณ์การทำงาน ความรู้ในเชิงวิชาการ และทักษะเฉพาะตัว เป็นต้น ตลอดจนสอดคล้องกับ Ömür (2020) ที่ประยุกต์ใช้ Fuzzy AHP ในการกำหนดกลยุทธ์ของมหาวิทยาลัยในการวิเคราะห์ SWOT เพื่อขจัดความบกพร่องทางผลประโยชน์ โดยการวิเคราะห์กลยุทธ์หลัก 6 กลยุทธ์และกลยุทธ์ย่อย 13 กลยุทธ์ ทำให้ได้ข้อสรุปกลยุทธ์ที่สำคัญที่สุดสำหรับมหาวิทยาลัยคือ “การเป็นมหาวิทยาลัยระดับท็อป 5 ของประเทศและมหาวิทยาลัยระดับท็อป 500 ของโลก” เป็นต้น ตามที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ซึ่งงานวิจัยเหล่านั้นเป็นเกณฑ์หลายเกณฑ์แบบสถิต (Static Multi-Criteria) แต่งานวิจัยฉบับนี้มีจุดเด่นในด้านของการเป็นเกณฑ์หลายเกณฑ์แบบพลวัต (Dynamic Multi-Criteria)

5.2.2 ด้านการสะท้อนมุมมองความแตกต่างในมิติของข้อมูลที่หลากหลาย

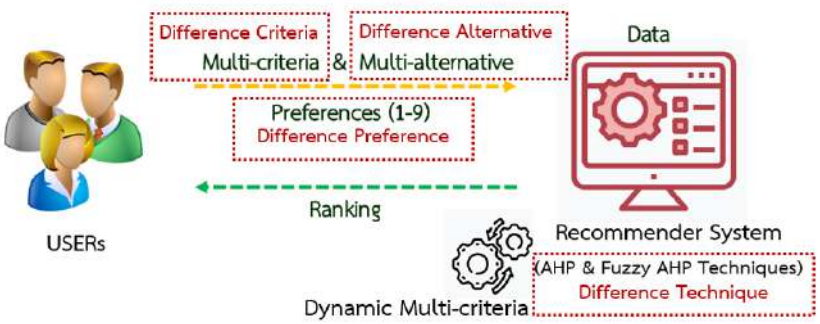
งานวิจัยนี้ช่วยสะท้อนมุมมองความแตกต่างในมิติของข้อมูลที่หลากหลาย ดังรูปที่ 5.4 คือ

1) ความแตกต่างของเกณฑ์ (Difference Criteria) ประกอบด้วย เกณฑ์การพิจารณาที่สามารถเลือกใช้ในการตัดสินใจได้ จำนวน 17 เกณฑ์

2) ความแตกต่างของทางเลือก (Difference Alternative) ประกอบด้วย ทางเลือกของมหาวิทยาลัยที่หลากหลายของหลักสูตรแต่ละระดับ ทั้งระดับปริญญาโท และ ระดับปริญญาเอก

3) ความแตกต่างของค่าคะแนนความพึงพอใจ (Difference Preference) ประกอบด้วย ค่าคะแนนความพึงพอใจ 1 – 9

4) ความแตกต่างของเทคนิค (Difference Technique) ได้แก่ เทคนิค AHP และ Fuzzy AHP



รูปที่ 5.4 ด้านการสะท้อนมุมมองความแตกต่างในมิติของข้อมูลที่หลากหลาย

ที่มา: ผู้วิจัย, 2566

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

5.3 ข้อจำกัดและงานวิจัยในอนาคต

5.3.1 ข้อจำกัดของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีผลลัพธ์ความถูกต้องระหว่างเทคนิค AHP และ Fuzzy AHP แตกต่างกันเล็กน้อย เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการศึกษาเปรียบเทียบมากยิ่งขึ้นจึงควรเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจำนวนเพิ่มขึ้น และกลุ่มตัวอย่างควรมีความหลากหลาย

อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยได้สะท้อนความสามารถทางการแข่งขันของหลักสูตรทั้งทางตรงและทางอ้อม จากการจำนวนการเลือกศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษาของกลุ่มทดลองโดยใช้เกณฑ์ต่างๆ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงไม่สามารถเปิดเผยชื่อหลักสูตรและสถาบันการศึกษาในรายงานผลวิจัยได้เนื่องจากอาจก่อให้เกิดความได้เปรียบเสียเปรียบในเชิงการแข่งขัน

5.3.2 งานวิจัยในอนาคต

1) ควรทำการทดลองโดยใช้ Fuzzy Membership Function อื่นๆ และเปลี่ยนแปลงค่า Degree of Fuzziness เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูล และได้ผลลัพธ์ค่า Precision Recall และ F1-Score สำหรับ Fuzzy AHP ที่ดีขึ้น

2) ควรประยุกต์ใช้เทคนิคอื่นๆ เช่น Machine Learning และ Data Mining ในการทำงานของระบบผู้แนะนำให้สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น หรือ ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจให้ใกล้เคียงกับมนุษย์

3) ควรนำแนวทางการออกแบบ แนวทาง UX/UI มาช่วยพัฒนาระบบ ผู้แนะนำให้น่าใช้งานมากยิ่งขึ้น

4) ควรขยายกลุ่มเป้าหมายในการทดลองใช้งานระบบผู้แนะนำให้ครอบคลุมกลุ่มผู้เรียนระดับต่างๆ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ. (2566). *สถิติการศึกษา*. สืบค้น 10 มิถุนายน 2566, จาก http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/03.aspx

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2561*). ข้อบังคับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ว่าด้วยการศึกษาในระบบบัณฑิตศึกษา พ.ศ. 2561*. สืบค้น 18 มิถุนายน 2566, จาก https://www.grad.chula.ac.th/index.php?lang=th

ชุติมา สัจจานันท์. (2011). *การวิจัยระดับบัณฑิตศึกษากับการพัฒนา*. สืบค้น 18 มิถุนายน 2566, จาก https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/gskku/article/download/22901/19582

ประณมกร อัมพรพรรดิ์. (2554). *การประยุกต์ใช้วิธี Analytical Hierachy Process ในโมเดลสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการเลือกเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษา. วารสารปาริชาต, 24*(1), 83 – 93.

ราชกิจจานุเบกษา. (2548). *ประกาศกระทรวงศึกษาธิการเรื่องเกณฑ์มาตรฐานหลักสูตร ระดับบัณฑิตศึกษา พ .ศ.2548.* เล่ม 122 ตอนพิเศษ 39 ง หน้า 14-15 ประกาศใช้ 25 พฤษภาคม 2548.

ราชกิจจานุเบกษา. (2549). *ประกาศกระทรวงศึกษาธิการเรื่องมาตรฐานการอุดมศึกษา*. เล่ม 123 ตอนที่ 105 ง หน้า 5-7 ประกาศใช้ 10 ตุลาคม 2549.

ราชกิจจานุเบกษา. (2554). *ประกาศกระทรวงศึกษาธิการเรื่องมาตรฐานสถาบันอุดมศึกษา พ.ศ. 2554.* เล่ม 128 ตอนพิเศษ 47 ง หน้า 44-46 ประกาศใช้ 24 เมษายน 2554.

วิจัย บุญญานุสิทธิ์ และคณะ. (2564). *การพัฒนาระบบอัจฉริยะสำหรับสนับสนุนการตัดสินใจ ในการนำส่งผู้ป่วยฉุกเฉินไปยังโรงพยาบาลที่เหมาะสม*. สืบค้น 15 มกราคม 2566, จาก https://www.niems.go.th/1/UploadAttachFile/2022/EBook/415004_20220315114344.pdf

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 พ.ศ. 2566-2570.* สืบค้น 17 มิถุนายน 2566, จาก https://www.nesdc.go.th/ewt_news.php?nid=13651&filename=develop_issue

อภิรดี สรวิสูตร. (2559). *การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์: เปรียบเทียบแนวคิดและวิธีการระหว่าง SAW AHP และ TOPSIS. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 8*(2), 180 – 191.

Abdelghani, E., & Salim A.-H. (2018). *Factors influencing students' selection of universities: The case of Oman. Journal of Educational Research and Evaluation, 2*(2), 83-88.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Akkas, E., & Ayhan, M. B. (2018). A comparative analysis for the criteria of higher education selection. *Participatory Educational Research (PER), 5*(2), 38-50.

Amin, M., Mehdi, A., & Xiaopeng, D. (2022). Evaluating the Performance of the Suppliers Using Hybrid DEA-OPA Model: A Sustainable Development Perspective. *Group Decision and Negotiation, Springer, 31*(2), 335-362.

Aminul, I., & Nehal, H. S. (2020). Factors Influencing Students' Decision Making in Selecting University in Bangladesh. *Advance Journal of Social Science, 6*(1), 17-25.

Anis, A., & Islam, R. (2015). The application of analytic hierarchy process in higher-learning institutions: a literature review. *International Business and Entrepreneurship Development, 8*(2), 166 – 182.

Aruldoss, M., Lakshmi, T. M., & Venkatesan, V. P. (2013). A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and Its Applications. *American Journal of Information Systems, 1*(1), 31-43.

Ashim, S. (2018). Overview of Web Development Life cycle in Software Engineering. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology (IJSRCSEIT), 3*(6), 626-631.

Badarneh, A., & Alsakran, J. (2016). An Automated Recommender System for Course Selection. *International Journal of Advanced Computer Science and Applicaions, 7*(3), 166 - 175.

Bedir, N., Özder, E. H., & Eren, T. (2016). Course Selection with AHP & PROMETHEE Methods for Post Graduate Students: An Application in Kirikkale University Graduate School of Natural and Applied Sciences. *MATEC Web of Conferences 6 (ICIEA 2016)*, (pp. 1-7).

Ching-Fu, C. & Chia-Ling, L. (2011). Determining the attribute weights of professional conference organizer selection: An application of Fuzzy AHP Approach. *Tourism Economics, 17*(5), 1129-1139.

Daniel, E.A., & Friday E.O. (2016). A Fuzzy AHP Model for Selection of University Academic Staff. *International Journal of Computer Applications, 141*(1), 19-26.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บรรณานุกรม (ต่อ)

Dewi, R. K., Hanggara, B. T., & Pinandito, A. (2018). A Comparison Between AHP and Hybrid AHP for Mobile Based Culinary Recommendation System. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), 12*(1), 133–140.

Do, T. D., & Le, L. C. (2020). Factors affecting high school students' decision on choosing university: Case study of Ho Chi Minh City. *J. Entrep. Educ.,23*, 3.

Fayyaz, Z., Ebrahimian, M., Nawara, D., Ibrahim, A., & Kashef, R. (2020). *Recommendation Systems: Algorithms, Challenges, Metrics, and Business Opportunities*. Applied Sciences, *10*(7748), 1 - 20.

Hasan, L., Ibrahim, A., & Idrus S. (2021). Make the Educational Decisions Using the Multi-Criteria Decision Making MCDM in the Light of the Corona Pandemic. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Advanced Technology, 2*(3), 34–41.

Katarina, U., Zoran, G., Igor, M., Cedomir, B., & Miloš, G. (2021). *Novel Methods in Multiple Criteria Decision-Making Process (MCRAT and RAPS) - Application in the Mining Industry*. Mathematics 2021, 9, 1-21.

Kilic, HS. (2011). *Analyzing the Factors in the University Selection Based on AHP: A Case Study Among the Students of Marmara University*. International Higher Education Congress: New Trends and Issues, Istanbul, Türkiye, 27 - 29 May 2011, 3, 1839-1844.

Kitikorn, D., & Panjaphol, M. (2017). Factors Affecting the Choice of University in Thailand among Thai International High School Student's Grade 11 and Grade 12 in the Central Bangkok Area. *International Research E-Journal on Business and Economics, 3*(2), 1-21.

Kuanr, M., Das, M., & Ojha, R. (2017). Recommender System for Admission Seekers to Apply for Graduate Studies. *International Journal of Advanced Computer Engineering and Communication Technology, 6*(1-2), 31-38.

Lynn, N. D., & Emanuel, A. W. R. (2020). A review on Recommender Systems for course selection in higher education. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, *The 5th Annual Applied Science and Engineering Conference* (pp. 1 – 6).

บรรณานุกรม (ต่อ)

Mahad, N. F., Yusof, NM., & Ismail, N. F. (2019). The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to solve multi-criteria decision making (MCDM) problems. *Journal of Physics: Conference Series, 13*(8), 1-8.

Mathew, M. (2019). *Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) for weight calculation Using Extent Analysis method*. Retrieved June 1, 2023, from https://www.youtube.com/watch?v=ZqaVuZ22mWs.

Nalawade, A., & Tiple, B. (2020). The University Recommendation System for Higher Education. *International Journal of Recent Technology and Engineering, 8*(6), 1692 – 1996.

Nolberto, M., & Eloy, H. (2021). *The Hierarchical Structure In: Uses and Limitations of the AHP Method.* New York, NY: Springer.

Ömür, H. K. (2020). Strategy Selection in the Universities via Fuzzy AHP Method: A Case Study. *International Journal of Higher Education, 9*(2), 107-117.

Prasanna, L., & Haritha, D. (2019). Smart Career Guidance and Recommendation System. *International Journal of Engineering Development and Research, 7*(3), 633 – 638.

Princy, S. & Dhenakaran. (2016). Comparison of Triangular and Trapezoidal Fuzzy Membership Function. *Journal of Computer Science and Engineering, 2*(8), 46 – 51.

Rahayu, T., Wan, H. W. M. & Maimunah, M. N. (2022). Application of fuzzy AHP for supplier development prioritization. *International Journal of Advanced and Applied Sciences, 9*(12), 125-134.

Rocky, N., Innocentius, B., & Ferdi, A. (2021). *Factors Affecting University Selection During Pandemic: a Study on Indonesian High School Students.* ADI International Conference Series, 2685-9106, 191 – 203.

Runtuwene, J., Tangkawarow, I., & Parinsi, M. (2018). Analytic Hierarchy Process (AHP) Methods For Evaluation of Teacher Quality. Atlantis Highlights in Engineering (AHE), *International Conference on Science and Technology (ICST 2018)*, 1, (pp. 769 – 774).

Saaty, T. L. (1970). *Thomas Saaty: AHP Example - Selecting a School*. Retrieved June 1, 2023, from https://www.youtube.com/watch?v=ChkBNabdfjo.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York, NY: McGraw-Hill.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

บรรณานุกรม (ต่อ)

Saaty, T. L. (2008). Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences, 1*, 83-98.

Satyananda, R., & Raju. (2009). An Improved Fuzzy Approach for COCOMO's Effort Estimation using Gaussian Membership Function. *Journal of Software, 4*(5), 452 – 459.

Teknomo, K. (2006). *Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial*. Retrieved June 29, 2023, from http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/AHP/.

Tharanut, T., Piyada, D., Declan, P. O'S., & Pisal, T. (2564). Factors Influencing Generation Z in Choosing an International University in Bangkok. *UMT Poly Journal, 18*(1), 553-571.

Urdaneta-Ponte, M., Mendez-Zorrilla A., & Oleagordia-Ruiz, I. (2021). Recommendation Systems for Education: Systematic Review. *Electronics, 10*(1611), 1-21.

Yan, L., Claudia M. E., & Christopher, E. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications, 161*(15), 1-29.

Yan, L., & Xin, Z. (2020). Evaluating the Undergraduate Course based on a Fuzzy AHP-FIS Model. *International Journal of Modern Education and Computer Science, 12*, 55-66.

Yar, Z. A. C. (2018). *A study on the factors influencing Myanmar students' choice of University courses* (Unpublished Master's thesis). Siam University, Bangkok.

Zavadskas, E. K., Antucheviciene, J., & Chatterjee, P. (2019). Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM) Techniques for Business Processes Information Management. *Information, 10*(4), 1 – 7.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ครั้งที่ 1

ภาคผนวก บทความนี้ตีพิมพ์เผยแพร่ใน Conference: 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)

The acceptance of e-Learning using SEM approach: A case of IT Literacy development for PIM students

The Acceptance of e-Learning using SEM Approach: A Case of IT Literacy Development for PIM Students

Wanvipa Wongvilaisakul
Information Technology Faculty
Rangsit University
Pathumthani, Thailand
wanvipawon@gmail.com

Somchai Lekcharoen
Information Technology Faculty
Rangsit University
Pathumthani, Thailand
s_lekcharoen@yahoo.com

Abstract—TAM theory is applied in this research and the research is to study the factors that will lead to acceptance and participation of e-Learning system for the development of IT Literacy for Thai students. It uses the technique of SEM and the result from collecting data of 420 students found that Goodness of fit indicators which also included a chi-square value of 267.84, CMIN/ DF = 1.87, SRMR = .05, GFI = .93, TLI = .97, CFI = .97, RMSEA = .05 and HOELTER = 269. Additionally, there are 2 factors which include; Perceived usefulness (PU) and Perceived ease of use (PEOU). Both factors have positive (+) direct influence on behavioral intention (BI). Moreover, there are 3 factors including Information quality (IQ), Functionality (FL) and Accessibility (A) which have a positive (+) indirect influence on behavioral intention (BI). The BI have been determined based on (PU) perceived usefulness along with perceived ease of use (PEOU). This lead to result in a R^2= .80. Therefore, the variables described earlier lead to the explanation that 80% of variance on behavioral intention (BI).

Keywords— TAM; SEM; e-Learning; IT Literacy

I. INTRODUCTION

Information Technology has been widely used in different organizations. Both public and private sectors have been investing a large sum of money in the information technology development. This is to create better advantage in competition as well as assist in support each level of the work operation. This let the organizational management team to realize the importance of using knowledgeable and skilled human resources in the information technology. This can be used to apply the information technology to suit the needs of the organization. Therefore, the educational institution has an importance role in supporting and developing IT literacy for the students. This is because it is considered as essential skills in work operations.

Another important approach in the development of students' IT literacy is the use of e-Learning as a tool to support the learning process of the students. This is because students will be able to access the lessons through internet network from everywhere and at all time. Moreover, there will also be Learning Management System or LMS that will work for supporting the students to learn. They are the distribution of lessons through computer network to the learners and the evaluation for the success of the lesson as well as support the services for the learners. This is the reason why many educational institutions have taken e-Learning to use as a supplementary to develop students' knowledge and practice their skills to be more efficiency. Thus, one of the methods which uses to measure the success of the work of e-Learning is through the analysis of students' acceptance to the use of e-Learning.

This research has taken Technology Acceptance Model or TAM to apply it in explanation or students' behavior prediction in the acceptance of e-Learning. It also uses the Structural Equation Model to use to analyze the main factors in the acceptance of e-Learning. This is used as an approach to take e-Learning to further develop IT literacy for Thai students.

This paper consists of (1) Theoretical background that is related to the research; such as, Information Technology literacy, e-Learning, TAM as well as SEM (2) Hypothesis's (3) Methodology and (4) Result it will also include result obtained from this research.

II. THEORETICAL BACKGROUND

A. Information Technology literacy

The ability regarding IT literacy is an individual ability to effectively apply information technology literacy in the work operation field. The examples include the use of application software such as word processing, spreadsheet, and presentation. It is also include the ability to use computer in communicating via network system and the ability to apply it with different programs. This is to support working process to result in better accuracy, speed, and overall benefit to the organizations.

People who have IT-literate skills are the one who consists of skills in IT and understanding basic concept of general IT. Furthermore, the people should be able to engage themselves in an intellectual thinking and use them with confident. They should be ready to learn new concept and use them efficiently and effectively. This is because IT implementation is used as a skill in all curriculums to assist students on their path toward an excellence skill of IT literacy. This will benefit the student as it will create positive atmosphere within the classroom which will leads students to gain IT-literacy skills. The real challenge at this time for universities and educational institutions is to further develop existing services, hardware,

978-1-4799-7961-5/15/$31.00 ©2015 IEEE

and technology to be able to assist students in becoming IT-literate people [1]. Thus, one of the widely used technologies is the use of e-Learning as an approach to develop this specific skill.

B. e-Learning

e-Learning has been assisting to change the way of implementation of education. The educational institutions now can take advantage of e-Learning to make learning more efficient and effective. The main important component of e-Learning is the Learning Management System or LMS which works as a center in assisting the learners. It will start working since the first days the learners begin their lessons by organize all curriculum and lessons and prepare it for the learners. After the learners have started the lesson, the system will begin to operate according to the learners' request through the network and will displays on the learners' web browser. Then, the system will follow-up and record the progress as well as report activities and study result of the learners. This will be report to every unit of study in great details up until the day the lesson is completed.

e-Learning is become a major component in today education system. At the present day, a need for guidelines formalization in e-Learning is much greater than ever before. This is because e-Learning will instruct the course instructor on how to property design and manage the course to suit the needs of learners. There are various available content for web learning, many of which is in excellence standard, while some still remain in an average standard. There are also wide gaps that need to be fully addressed [2].

The assist in support the learning through e-Learning system to become more effective can be done by indicating a clear qualification of learners. For the reason, each group of learners has various abilities in recognition and technological usage differently. For those who are ready to learn, they have already been familiar with computer and new technical innovations. Therefore, they will be able to fully develop their skills via e-Learning system. Additionally, the study regarding the attitude and analysis of learners' acceptance through the use of e-Learning is also another method that could measure the success of the operation of e-Learning program.

C. Technology Acceptance Model (TAM)

In order to take an e-Learning system to apply to use with the user, it should be an appropriate way of applying with the technology. The theory that is used is Technology Acceptance Model (TAM) which was first created by Davis [3]. The technology acceptance model concept is displayed in Figure 1. It seems to be one of the most widely accepted method in the research of information system regarding studying of users' system acceptance behavior. This is because the theory, the Technology Acceptance Model (TAM) has been adapted from TRA or the Theory of Reasoned Action. Moreover, TAM has been applied to use for the study of computer and technology acceptance for the importance of research in the Information system field [4]-[5].

TAM has been used to explain the behavior of users when they are using the technology. It explains the correlation of causal and the attitude of user to the system. In the present, it has been applied to study the acceptance of user to various forms of information technology. The examples are Project Management Information System [6].

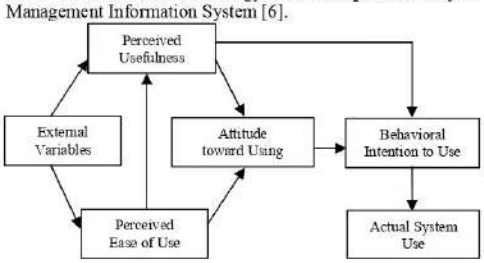


Fig. 1. Technology Acceptance Model [3]

According to E-portfolio system [7], Facebook in education [8] and e-Learning [9] researches have been applied to use with e-Learning; for example, the study of Evaluate of an e-Learning framework [10], the study of understanding e-Learning system user's post adaptation usage behavior and its outcomes [11], the study to investigate students' acceptance of online learning in hospitality program [12], the study of supporting employees' intention to use e-Learning system [13], as well as measuring the acceptance and adoption of e-Learning by academic staff [14] and also the study of extending the TAM model to explore the factors that affect intention to use an online learning community [15].

Most importantly, TAM is also capable of user behavior explanation through a broader range of end-user technology. In addition it is also capable of looking into user population [16]. A highly popular technique to use in analyze the important factors of e-Learning acceptance to create an approach in taking e-Learning include SEM. The examples are including the research regarding factors which affect students' acceptance of e-Learning in the environments in developing countries. Hence, a Structural Equation Modeling approach has been used to apply with SEM technique to test the hypotheses. It is also use to perform various experiments and tests; for example, comparisons between groups that require a great number of participants. This is the reason that why it is appropriate to use the survey as data collection method. This is seen from ontological, epistemological, as well as methodological perspective.

D. Structural Equation Modeling (SEM)

Structural Equation Modeling (SEM) is a technique that is in the form of statistic that has been used for the estimation of cause and effect relations. It works through a combination between data in the form of statistic and qualitative assumptions. This model is used for describing the operation of this system. Moreover, the model also helps to express greater than the average correlation as it does not explain the cause.

Additionally, SEM is considered as a technique that combines different analytical factors that assist researchers to continuously examine various interrelated relationship that are dependable. This is done amongst variety of variables that have been carefully measured [17].

SEM is a technique that researcher can applied it to use with the analysis of Observed Variable and Latent Variable. It

978-1-4799-7961-5/15/$31.00 ©2015 IEEE

can be found in the direct and indirect influence of variable. The example is the research by Visit Wiangnak and Somchai Lekcharoen [18]. The aim of this research is to develop as well as validate relationship of the competencies for project managers in relation with the efficient of project managerial in Thailand. The results can be concluded as follows; (1) Variable with a direct influence of efficiency for project management including knowledgeable area; technical skill, managerial skill, as well as personal attribution. (2) If the project managers have competencies toward the area of efficiency for project management.

III. OBJECTIVES

This paper has a main purpose to study factors which leads to an acceptance and participation in using the e-Learning system for IT Literacy development of Thai students.

IV. METHODOLOGY

A. Population

This research is a survey-based on population of educational institution who are bachelor degree students between years 1-4 at the Panyapiwat Institute of Management. These students enrolled in the subject of Technology for Office Automation in the first semester in the academic year 2014. The total number of students is 420 and the subject mentioned has been use as an approach to develop the students' IT literacy. This is the students, they will gain the ability to use Computing Fundamentals, Key Application and Living Online. This will be the foundation in producing lessons and works that will mainly focus on stage type of practice. There will also be worksheet in every class that uses e-Learning system as a supplementary. After the course, the student will fill in a survey of this research by answering questions that consist of 2 parts (1) Characteristics of the population which are; Current Year of Study, Major and Gender, and (2) measurement of e-Learning acceptance in students.

B. Measured Variables

The variability in this paper can be divided into 2 main groups; which are, starting variable and following variable. The first type can be separated into 5 variables and the second type has altogether 1 variable. This is to corresponding with the purpose of the research.

Information Quality (IQ) [19] means the use of e-Learning in searching for information which can be beneficial for learning and is up to date. This is to make it easier to understand for the learners.

Functionality (FL) [19] means the use of e-Learning that has a quick response and has the quality according to the needs of learners. This will help learner to be able to understand and access the lesson as well as achieve the learning goals.

Accessibility (A) [20] means the use of e-Learning that enable to learners to access the information quicker than before.

Perceived Usefulness (PU) [21] means the use of e-Learning to help with the improvement of learners' capabilities which will help the lesson to be more effective. This will result in earners foresee the importance of the system.

Perceived Ease of Use (PEOU) [21] means acknowledge of e-Learning system that it is easy to use, not complicate and does not require high attempt for the learners. This will result in learners becoming the person who have skilled for e-Learning system.

Behavioral Intention (BI) [22] means the intention of learners to use e-Learning system. It includes the continuous usage from the present to the future.

C. Hypothesises

H1. Information quality (IQ) has a positive (+) direct influence on perceived ease of use (PEOU).

H2. Functionality (FL) has a positive (+) direct influence on perceived usefulness (PU).

H3. Accessibility (A) has a positive (+) direct influence on perceived usefulness (PU).

H4. Perceived ease of use (PEOU) has a positive (+) direct influence on perceived usefulness (PU).

H5 Perceived usefulness (PU) has a positive (+) direct influence on behavioral intention (BI).

H6 Perceived ease of use (PEOU) has a positive (+) direct influence on behavioral intention (BI).

H7 Information quality (IQ) has a positive (+) direct influence on perceived usefulness (PU).

H8 Functionality (FL) has a positive (+) direct influence on perceived ease of use (PEOU).

H9 Accessibility (A) has a positive (+) direct influence on Perceived usefulness (PU).

H10 Perceived usefulness (PU) has a positive (+) direct influence on perceived ease of use (PEOU).

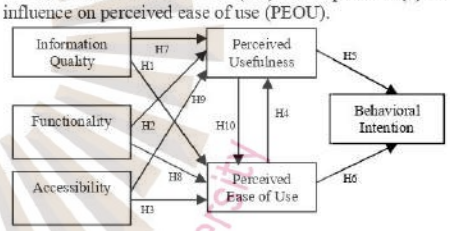


Fig. 2. The study model

Based on, Figure 2, it has represented the relationship between the independent variables. This will result in a direct influence on behavioral intention of e-Learning.

V. RESULT

A. Charecteristics of Population

The information in this research is collected by the researcher from handling out survey to 420 populations. The population sample consisted of students majoring in modern trade management, human resource management and other department at the Panyapiwat Institute of Management, Thailand. A questionnaire including survey is created from the

978-1-4799-7961-5/15/$31.00 ©2015 IEEE

previous published research, it isstated in the literature review. Every scales is measured on a 5-point Likert scale, ranking from 1 = strongly disagree to 5 = strongly agree. The date of the survey collected was in December 2014. The result is taken to analyze as follow.

TABLE I. CHARACTERISTICS OF POPULATION

Category		Frequency	Percentage (%)
Current Year of Study	1st Year	261	62.14
	2nd Year	154	36.67
	3rd Year	4	0.95
	4th Year	1	0.24
Major	MTM	365	86.91
	HRM	50	11.90
	Others	5	1.19
Gender	Male	151	35.95
	Female	269	64.05

B. Analysis of the structural model

An information analysis began with data screening in order to avoid problems in analyze. This will be done through the verification of missing, find the value of skewness and kurtosis as well as check the correlation between variables.

After the process of model adjustment as in a visual program for structural equation modeling (SEM) suggestion, the next is the result of data processing for analysis which can be seen in Figure 3.

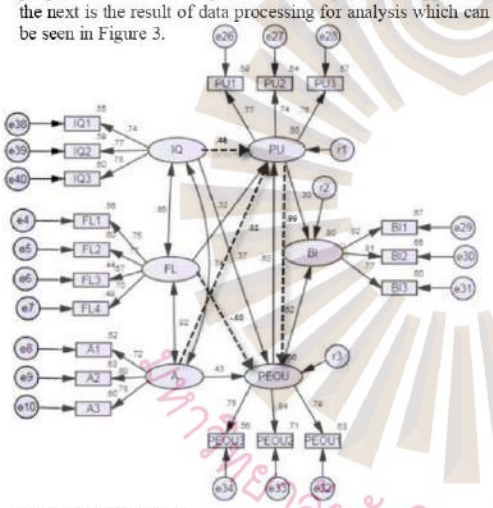


Fig. 3. The adjusted model

Based on the analysis of SEM, the researcher uses different indices which indicates goodness of fit from the data. This will help with the proposal of the model. This illustrated that the measurement model displayed a good fit with the data collected. (Table 2)

The indicators for goodness of fit consist of a Goodness of a chi-square value of 267.84, CMIN/ DF = 1.87, SRMR = 0.05, GFI =0.93, TLI = 0.97, CFI = 0.97, RMSEA = 0.05 and HOELTER = 269

TABLE II. MODEL FIT SUMMARY

Goodness of fit index	Cut-off Value	Result	Remake
Probability	> .05	.00	-
CMIN/DF	< 2.0	1.87	Good
SRMR	< .05	.02	Good
GFI	> .90	.94	Good
AGFI	> .90	.92	Good
TLI	> .95	.97	Good
CFI	> .95	.97	Good
RMSEA	< .05	.05	Good
HOELTER	> 200	269	Good

Table 3 displays regression weight of variable. It consists of values of S.E. , C.R., and P as follow.

TABLE III. REGRESSION WEIGHTS

Variables	Estimate (Standardized)	S.E.	C.R.	P
PEOU <---- IQ	.44	.10	4.48	.00
PU <---- FL	.32	.07	4.91	.00
PEOU <---- A	.45	.08	5.23	.00
PU <---- PEOU	.63	.07	8.76	.00
BI <---- PU	.31	.11	2.79	.01
BI <---- PEOU	.63	.11	5.54	.00
PU <---- IQ	.46	.36	1.50	.13
PEOU <---- FL	- 50	.36	-1.39	.16
PU <---- A	.63	.41	1.51	.13
PEOU <---- PU	99			

According to the table above, it is found that there is a probability < 0.05. This may due to the excess number of populations regarding information collected comparing to the factors that have been analyzed.

Table 4 displays a standardized casual effects of the structural model (n = 420)

TABLE IV. STANDARDIZED CAUSAL EFFECTS

	Perceived Usefulness		Perceived Ease of Use		Behavioral Intention	
	Direct effects	*Indirect effects*	*Direct effects*	*Indirect effects*	*Direct effects*	*Indirect effects*
Information Quality	.46*	.23*	.37*			.30*
Functionality	.32*		- .50			.35*
Accessibility	.63*	.27*	.43*			.35*
Perceived Usefulness			.99		.30*	
Perceived Ease of Use	.64*				.62*	.19
R^2	.80*		.56*		.80*	

*P ≤ 0.05

C. Hypothesis Testing

The hypothesis testing is based on the data processing result from the SEM analysis. This works to prove the purpose from the testing of this research. The process is done by the analyzing the data processing results for C.R. value and P value as seen in table 3. C.R. value and P value should be able to fill condition ± 1.96 and ≤ .05 and based on all result of testing, all hypotheses have been accepted.

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

978-1-4799-7961-5/15/$31.00 ©2015 IEEE

1) Hypothesis Testing 1

The study is based on information quality (IQ) which has a positive (+) on an direct influence with the perceived ease of use (PEOU). A parameter has been estimated between information quality (IQ) against perceived ease of use (PEOU) which has showed significant positive results with the value of CR = 4.48 with a probability of .00. Thus, the probability value of < .05, can be concluded that the variables has an effect on the information quality (IQ) of perceived ease of use (PEOU). Hypothesis 1 is then accepted.

2) Hypothesis Testing 2

The study is based on functionality (FL) which has a positive (+) on an direct influence of perceived usefulness (PU). A parameter has been estimated between the functionality (FL) against the perceived usefulness (PU) which showed significant positive results with the value of CR = 4.91 with a probability of .00. This means that the probability value of < .05, can be concluded that the variables have an effect with the functionality (FL) on perceived usefulness (PU). Hypothesis 2 is then accepted.

3) Hypothesis Testing 3

The study is based on the accessibility (A) and it also has a positive (+) on an direct influence with the perceived ease of use (PEOU). A parameter has been estimated that between accessibility (A) against perceived ease of use (PEOU) which has showed a significance positive results with the value of CR = 5.23 with a probability of .00. This means the probability value of < .05, which can be concluded that the variables have an effect accessibility (A) on the perceived ease of use (PEOU). Hypothesis 3 is then accepted.

4) Hypothesis Testing 4

The study is based on perceived ease of use (PEOU) which has a positive (+) on an direct influence of perceived usefulness (PU). A parameter has been estimated between the perceived ease of use (PEOU) against the perceived usefulness (PU) which showed significant positive results with the value of CR = 8.76 with a probability of .00. This means that the probability value of < .05, can be concluded that the variables have an effect with the perceived ease of use (PEOU) on perceived usefulness (PU). Hypothesis 4 is then accepted.

5) Hypothesis Testing 5

The study is based on the perceived usefulness (PU) which has a positive (+) direct influence on behavioral intention (BI). Additionally, a parameter has been estimated between perceived usefulness (PU) against behavioral intention (BI) which showed a significant positive results with the value of CR = 2.79 This also shows a probability of.01 therefore, the probability value of < .05, can be concluded that the variables affect perceived usefulness (PU) on behavioral intention (BI). Hypothesis 5 is accepted.

6) Hypothesis Testing 6

These studies include perceived ease of use (PEOU) has a positive (+) direct influence on behavioral intention (BI). Also, a parameter has been estimated between perceived ease of use (PEOU) against behavioral intention (BI) that showed significant positive results with the value of CR = 5.54 with a probability of .00. Thus, the probability value of < .05, can be concluded that the variables affect perceived ease of use (PEOU) on behavioral intention (BI). Hypothesis 6 is then accepted.

7) Hypothesis Testing 7

These study includes perceived information quality (IQ) has a positive (+) direct influence on perceived usefulness (PU). Also, a parameter is estimated between information quality (IQ) against perceived usefulness (PU) that showed significant positive results with the value of CR = 1.50 with a probability of .13. Thus, the probability value of < .05, can be concluded that the variables affect information quality (IQ) on perceived usefulness (PU). Hypothesis 7 is then rejected.

8) Hypothesis Testing 8

These study includes functionality (FL) has a positive (+) direct influence on perceived ease of use (PEOU). Also, a parameter has been estimated between functionality (FL) against perceived ease of use (PEOU) that showed significant positive results with the value of CR = -1.39 with a probability of .16. Thus, the probability value of < .05, can be concluded that the variables affect functionality (FL) on perceived ease of use (PEOU). Hypothesis 8 is then rejected.

9) Hypothesis Testing 9

These study includes accessibility (A) has a positive (+) direct influence on perceived usefulness (PU). Also, a parameter has been estimated between accessibility (A) against perceived usefulness (PU) that showed significant positive results with the value of CR = 1.51 with a probability of .13. Thus, the probability value of < .05, can be concluded that the variables affect accessibility (A) on perceived usefulness (PU). Hypothesis 9 is then rejected.

10) Hypothesis Testing 10

These study includes perceived usefulness (PU) has a positive (+) direct influence on perceived ease of use (PEOU). Also, a parameter has been estimated between perceived usefulness (PU) against perceived ease of use (PEOU) that showed significant positive results with the value of CR = .00 with a probability of .00. Thus, the probability value of < .05, can be concluded that the variables affect perceived usefulness (PU) on perceived ease of use (PEOU). Hypothesis 10 is then rejected.

D. Summary Result

From the study, it is found that the factors regarding perceive usefulness and perceived ease of use have a positive direct influence on behavioral intention. It dues to the learners foresee the importance of using e-Learning system that it will benefit themselves directly. The result of this research is similar to the research [23]-[24]. The perceive usefulness has been shown in these studies which stated that the students believed that e-Learning system usage will improve their learning performances. Researches from various scholars have acknowledged the strength of this factor of perceiving usefulness to determine the continuous usage intention for studies regarding e-Learning systems. Moreover, it is also corresponding to [25] which stated that perceived ease of use (PEOU) on the (BI) or behavioral intention for students of the use of e-Learning.

978-1-4799-7961-5/15/$31.00 ©2015 IEEE

Moreover, the system usage is also not too complicated that it exceeds the capabilities of learners. This will results in the acceptance of e-Learning usage and an increase usage in the near future. This will also help improve the skills regarding IT Literacy of the learners from the continuous practice in skills.

For the factor regarding information quality, functionality and accessibility has a positive (+) indirect influence on behavioral intention. This is because these factors are related to the collecting of quality information that will benefits the learning, respond to the usage of the system, as well as quick access to the system. This may not be directly related to the learners, but it has a relation with other factors which leads to the participation of learners in using e-Learning system.

VI. CONCLUSIONS

IT Literacy is considered an important skill for students. Educational institutions can take e-Learning to help continuously develop the skills. There are not limitations in time and location. Therefore, if the education institutions acknowledge the factors that affect the acceptance of e-Learning, it will help the institution to be able to find way to support the needs of the learners directly. From this study, the researcher foresees that educational institutions should prioritize the matter of public relation and provide knowledge regarding e-Learning for IT literacy development skills for the students. The example is to create a media campaign to show the benefits that students will gain from the system. There should also be the making of demonstration media of the use of e-Learning for the IT literacy skill development of students. This can be done easily to stimulate the students to try the system as it is not a task that is too difficult to accomplish. This will help assist the students to have acceptance and attention in using this technology for further usage.

ACKNOWLEDGEMENTS

The researchers would like to thank the Panyapiwat Institute of Management (PIM) in Thailand for opportunities regarding data collection for this paper.

REFERENCES

[1] Ezziane, Z, "Information Technology Literacy: Implications on Teaching and Learning," Educational Technology & Society, vol. 10, no. 3, 2007, pp. 175-191.

[2] Jayanthi, M. K., Srivatsa, S. K., and Ramesh, T. "Object oriented analysis and design of e-learning system," Information Technology Journal, vol. 6, 2007, pp. 818-826.

[3] Davis, F. D., "Percieved usefulness, perceived ease of use and user acceptance of infomation technology," MIS Quarterly, 1989, vol. 13, pp. 319-340.

[4] D. Straub, M. Keil, and W. Brenner, "Testing the technology acceptance model across cultures: A three country study," Information & Management, 1997, vol. 3, no.1, pp. 1-11.

[5] S. Taylor and P. Todd, "Decomposition and crossover effects in the theory of planned behavior: A study of consumer adoption intentions," International journal of research in marketning, 1995, vol. 12, no. 2, pp. 137-155.

[6] A. Rizal, "Analisis Penerapan Project Management Information System (PMIS) Menggunakan Metode Technology Acceptance Model (TAM)," IncomTech, Jurnal Telekonikasi dan Komputer, vol.5, no.1, Januari 2014.

[7] Ronnie H.Shroff, Christopher C. Deneen, and Eugenia M. W. Ng, "Analysis of the technology acceptance model in examining students' behavioral intention to use an e-portfolio system," Australasian Journal of Educational Technology, vol. 27, no. 4, 2011, pp. 600-618.

[8] Penjuree Kanthawongs, "Applying the Technology Acceptance Model in a Study of the Factors Affecting Intention to Use Facebook in Education of the Thai University Students," unpublished.

[9] Maslin Masrom, "Technology Acceptance Model and E-learning," 12th International Conference on Education, Sultan Hassanal Bolkiah Institute of Education, May 2007.

[10] Yalda Danesh Sedigh, Development and Validation of Technology Acceptance Modelling for Evaluating User Acceptance of an E-learning framework, The University of Birmingham, 2013.

[11] A. K. M. Najmul Islam, Understanding E-Learning System Users' Post-Adoption Usage Behavior and its Outcomes: A Study of a Learning Management System, Turku School of Economics, 2012.

[12] Sung Mi Song, E-learning: Investigating students' acceptance of online learning in hospitality programs, Iowa State University, 2010.

[13] Yi-Hsuan Lee, Yi-Chuan Hsieh, and Chia-Ning Hsu, "Adding Innovation Diffusion Theory to the Technology Acceptance Model: Supporting Employees' Intentions to use E-Learning Systems," Educational Technology & Society, vol. 14, no. 4 2011), pp. 124-137.

[14] Basheer A. Al-alak and Ibrahim A.M. Alnawas, "Measuring the Acceptance and Adoption of E-Learning by Academic Staff," Knowledge Management & E-Learning: An International Journal, vol. 3, No.2, 2011, pp. 201-221.

[15] I-Fan Liu, Meng Chang Chen, Yeali S. Sun, David Wible, and Chin-Hwa Kuo, "Extending the TAM model to explore the factors that affect Intention to Use an Online Learning Community," Computer & Education, vol. 54, 2010, pp. 600-610.

[16] M. K. O. C. M. K. Cheung, and Z. Chen, "Acceptance of Internet-based learning medium: the role of extrinsic and intrinsic motivation, " Information & Management, 2005, vol. 42, no. 8, pp. 1095-1104.

[17] Hair, Jr.J.F., Black, W.C., Babin, B.J. and Anderson, R.E., Multivariate Data Analysis: A Global Perspective, London: Pearson, 2007.

[18] Visit Wiangnak and Somchai Lekcharoen, "The Causal Relationship Model of Project Managers' Competencies Influences: Efficientcy of ICT Project Management," Proceeding of Annual Tokyo Business Research Conference, December 2014.

[19] Cho, V., Cheng, T.C.E., and Lai, W.M.J., "The role of perceived user-interface design in continued usage intention of self-paced e-learning tools," Computer & Education, vol. 53, no. 2, 2009, pp. 216-227.

[20] Wixom, B.H. and Todd, P.A., "A Theorical Integration of User Satisfaction and Technology Acceptance," Information Systems Research, vol. 16, 2005, pp. 85-102.

[21] Roca, J.C. and Gagne, M., "Understanding e-learning continuance intention in the workplace: A self-determination theory perspective," Computers in Human Behavior, vol. 24, no. 4, 2008, pp. 1596-1604.

[22] Liao, H.L. and Lu, H.P., The role of expensive and innovation characteristics in the adoption and continued use of e-learning websites. Computer & Edcation [e-journal] vol. 51, no. 4, Available through: http://www.elsevier.com

[23] Seddon, P., "A respecification and extension of the Delone and Mclean model of IS success," Information Systems Research, vol. 8, no. 3, 1997, pp. 240-253.

[24] Lin, W.-S. and Wang, C.-H, "Antecedences to continued intentions of adopting e-learning system in blended learning instruction: A contingency framework based on models of information system success and task-technology fit," Computer & Education, vol. 58, no.1, 2012, pp. 88-89.

[25] Ong, C. H. & Lai, J. Y., "Gender differences in perceptions and relationships among dominants of e-learning acceptance," Computers in Human Behavior, vol. 22, no. 5, 2006, pp. 816-829.

978-1-4799-7961-5/15/$31.00 ©2015 IEEE

ภาคผนวก ข

การเผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

ภาคผนวก บทความนี้ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร Sustainability

ปรากฏในฐานข้อมูล Scopus Q1 และไม่ปรากฏใน Beall List

Dynamic Multi-Criteria Decision Making of Graduate Admission

Recommender System: AHP and Fuzzy AHP Approaches

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

sustainability
an Open Access Journal by MDPI
IMPACT FACTOR 3.889
CITESCORE 5.0
Affiliated Societies:
Canadian Urban Transit Research & Innovation Consortium (CUTRIC)
International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB)
MDPI
Academic Open Access Publishing since 1996
Rangsit University

sustainability

an Open Access Journal by MDPI

Editor-in-Chief
Prof. Dr. Marc A. Rosen

Section Editors-in-chief
Prof. Dr. Steve W. Lyon
Prof. Dr. Paolo S. Calabrò
Prof. Dr. Annamaria Di Fabio
Prof. Dr. Idiano D'Adamo
Prof. Dr. Iain J. Gordon
Prof. Dr. Giuseppe Ioppolo
Dr. Derek J. McPhee
Prof. Dr. Vincenzo Torretta
Prof. Dr. Chen-Tung Arthur Chen
Prof. Dr. Tan Yigitcanlar
Dr. Lei Zhang
Prof. Dr. Alan Randall
Prof. Dr. Mark A. Bonn
Prof. Dr. Francesco Asdrubali

Message from the Editor-in-Chief

I encourage you to contribute a research or comprehensive review article for consideration for publication in *Sustainability*, an international open access journal which provides an advanced forum for research findings in areas related to sustainability and sustainable development. The journal publishes original research articles, reviews, conference proceedings (peer reviewed full articles) and communications. I am confident you will find the journal contributes to enhancing understanding of sustainability and fostering initiatives and applications of sustainability-based measures and activities.

Author Benefits

- **Open Access** Unlimited and free access for readers
- **No Copyright Constraints** Retain copyright of your work and free use of your article
- **Thorough Peer-Review**
- **2021 Impact Factor: 3.889 (*Journal Citation Reports* - Clarivate, 2022)**
- **Discounts on Article Processing Charges (APC)** If you belong to an institute that participates with the MDPI Institutional Open Access Program
- **No Space Constraints, No Extra Space or Color Charges** No restriction on the length of the papers, number of figures or colors
- **Coverage by Leading Indexing Services** Scopus, SCIE and SSCI (Web of Science), GEOBASE, GeoRef, Inspec, AGRIS, RePEc, CAPlus / SciFinder, and other databases

Chulalongkorn University

Aims and Scope

Our aim is to encourage experts to publish their experimental, computational and theoretical research on sustainability. This encompasses topics related to social sciences, natural and applied science and engineering, in order to enable the application and development of sustainability.

Subject Areas

Defining, quantifying, measuring, and monitoring sustainability
Environmental management and conservation
Resources and sustainable utilization
Climate change
Sustainability of energy resources
Sustainable regional planning and development
Sustainable economic development and business management
Sustainable supply chains, logistics, and transportation
Food consumption and safety
Sustainable agriculture
Sustainability, biodiversity and conservation
Education for sustainability
Sustainable tourism, culture preservation, and heritage conservation
Relation of geographical changes and social development to sustainability
Psychological aspects of sustainability and sustainable development
Health and sustainability
Hazards and sustainability
Sustainable materials

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

Editorial Office
Sustainability Editorial Office
sustainability@mdpi.com
MDPI, St. Alban-Anlage 66
4052 Basel, Switzerland
Tel: +41 61 683 77 34
www.mdpi.com
mdpi.com/journal/sustainability

sustainability

MDPI

Article

Dynamic Multi-Criteria Decision Making of Graduate Admission Recommender System: AHP and Fuzzy AHP Approaches

Wanvipa Wongvilaisakul [1], Paniti Netinant [1,*] and Meennapa Rukhiran [2,*]

[1] College of Digital Innovation Technology (DIT), Rangsit University, Pathum Thani 12000, Thailand; wanvipawon@pim.ac.th
[2] Faculty of Social Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi 22210, Thailand
* Correspondence: paniti.n@rsu.ac.th (P.N.); meennapa_ru@rmutto.ac.th (M.R.)

Abstract: The optimal management of personal resources impacts everyone's quality of life. An investment in graduate education is a sustainable opportunity for improved outcomes in human life, including cognition, behavior, life opportunities, salary, and career. Advanced technology dramatically reduces the risk of personal resources in graduate program admission recommendations that depend on multiple individual needs and preferences. In the digital age, a dynamic recommender system enhances the suitably effective solution for students' university selections. This study focused on designing, developing, and testing a recommender system for graduate admission using a dynamic multi-criteria AHP and fuzzy AHP approach. The explicit multi-criteria recommender system was a platform as a service (PaaS) web application created to aid in graduate admissions management and decision-making. The design proposed that the bit representation store a dynamic explicit multi-criteria data structure. The recommendations adopting dynamic multi-criteria were validated by comparing them to the programs to which the students were actually admitted and enrolled. They individually ranked the evaluation outcomes of dynamic explicit multi-criteria and alternative preferences to provide graduate admission recommendations. Eighty graduate students in information technology evaluated the recommender system. Using top-1, top-2, and F1-score accuracy, the effective system accuracy performance on the dynamic multi-criteria recommender system was evaluated using AHP and fuzzy AHP approaches. The fuzzy AHP demonstrated marginally greater practical accuracy than the AHP method.

Keywords: AHP; bit representation; cross validation; decision making; dynamic multi-criteria; fuzzy AHP; graduate admission; recommender system; software development

check for updates

Citation: Wongvilaisakul, W.; Netinant, P.; Rukhiran, M. Dynamic Multi-Criteria Decision Making of Graduate Admission Recommender System: AHP and Fuzzy AHP Approaches. *Sustainability* **2023**, *15*, 9758. https://doi.org/10.3390/su15129758

Academic Editor: Jurgita Antuchevičienė

Received: 13 May 2023
Revised: 16 June 2023
Accepted: 16 June 2023
Published: 19 June 2023

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Introduction

The universal demand for better education has resulted in a rapid increase in enrollment and higher tuition fees in many countries around the world [1]. Access to education solely is insufficient [2]. Students who do not graduate run the risk of losing opportunities, resources, time, and motivation. In the meantime, higher education can contribute to improved careers, attitudes, life opportunities, and salary outcomes. Consequently, long-term success in higher education becomes essential [3]. The achievement of sustainable success in higher education may involve two possible stakeholders: university staff and administrators who provide educational needs and services. Students must choose a suitable university for their studies. As the number of educational institutions and programs increases, the situation may become increasingly challenging for students to meet their informational needs by conducting online searches about educational products and services [4]. Without sufficient students graduating, educational institutions are under increasing pressure to produce graduates who are prepared to enter a labor market that is undergoing change. Developing a technology-enhanced relationship between students'

interests and universities' preferences to define and pursue learning goals using a recommender system [5,6] is one of the critical challenges of achieving sustainable success in the recommendation of higher education. This allows each student to attend the university that best suits his or her individual interests and preferences.

Users are increasingly exposed to the entirety of the digital universe [7,8] through the prism of their information, knowledge, behaviors, activities, preferences, and interests using recommendation systems [9]. Due to the increase in online information and database systems, a recommender system employing a powerful information filtering technology that allows users to make their own decisions to increase user satisfaction [10] has attracted considerable interest. A recommender system contributes to the development of an original application and offers users subsequent actions based on a variety of factors and choices, such as user interests or preferences and user history [11,12]. The recommender system has become a valuable tool for resolving the problem of information overload, enabling users to make difficult decisions and meeting their needs in a variety of solutions, including digital commerce [13], finance [14], entertainment (film [15], music [16], and television shows [17]), travel [18], healthcare [19], energy [20], and education [5,21].

Recommender systems have been studied in various research areas, such as algorithms, processing techniques, and software developments [22,23]. The contents and information for recommendations and the recommendation algorithm must be tightly associated when creating and constructing a recommender system [24]. Several approaches to decision-making support employing intelligent information-processing technology have been proposed, such as collaborative filtering [22,25], content-based filtering [26,27], and clustering [28,29]. However, the conventional recommendation approaches also encounter several limitations because the traditional recommender system uses a single-criterion rating value. In the last two decades, the integration of algorithms known as hybrid systems have been combined to improve decision scenarios. The new approaches require a criterion to use more than a rating on the item to seek the appropriate recommendation items. Since the item selection for an individual user might depend entirely on more than one criterion, multiple factors in the decision-making model, which comprises innovative integration and analysis, can result in more accuracy in the recommendation [23].

In recent years, recommender systems have increasingly utilized the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (fuzzy AHP) techniques. These methods permit ranking criteria and sub-criteria, resulting in more accurate recommendations. AHP is one of the algorithms used to prioritize public and private organizations' diverse decision-making and planning activities [30]. AHP is a decision-making support technique that employs multi-criteria decision problems [31]. Multi-criteria decision-making (MCDM) can effectively increase user satisfaction by incorporating multi-criteria inventory classification [32] for decision-makers. The MCDM method is designed to support uncertain decision-making processes and includes numerous decision-making variables or criteria [33]. MCDM is utilized to solve problems in various domains, including performance evaluation, resource management, corporate and strategic policies, public policy, political planning, and strategy. The limitations of AHP capability mentioned earlier and several other features can impede AHP [34] from effectively handling large-scale solutions, complex problems, consideration of risk and uncertainty, conflicting criteria, lack of transparency and interpretability, and dynamic environments. These limitations can lead to computational difficulties and increase the time and effort required to perform the pairwise comparisons and derive the final priority rankings. The complexity of the decision model grows exponentially, including a number of criteria, conflicting criteria, alternatives, and stakeholders. AHP can struggle to handle large-scale and complex decision problems and does not explicitly incorporate measures of risk, uncertainty, trade-offs, and conflicting criteria in the decision-making process. In addition, AHP involves a series of calculations, matrix transformations, and pairwise comparisons, making the decision-making process complex, less transparent, and making it difficult to understand and interpret the rationale behind the priority rankings. Moreover, AHP assumes a static decision environment

where the criteria and weights remain fixed throughout the decision-making process. In application scenarios, decision problems can be dynamic and subject to changes over time. AHP may struggle to adapt to such dynamic environments and require frequent updates and recalibrations. While AHP can handle quantitative data and pairwise comparisons to derive the priority rankings, the qualitative data using a conversion of numerical scales may lead to subjectivity and loss of information. A fuzzy hybrid approach is one of the most well-known effective MCDM techniques. The fuzzy logic encompasses a number of preference settings that are more uncertain, imprecise, and obscure than AHP and other MCDM strategies. Fuzzy pairwise comparison enables the inspection of inconsistencies to prevent bias in decision-making for various alternatives based on different criteria. Combining fuzzy strategies with AHP [18] is one of the techniques for advancing complex problems using AHP. Fuzzy AHP, also known as one of the MCDM tools [35], was developed to address the hierarchical and selection problem.

A considerable number of recommendation systems have been proposed in education, as well as in teaching and learning services and information management. A study [26] examines the operation of AHP and fuzzy AHP in various domains of decision support systems. However, it has not been determined whether the fuzzy AHP approach is superior in terms of accuracy and the ability to handle uncertain and ambiguous criteria and alternatives. Another study [36] proposed a hybrid method that combined AHP and fuzzy AHP for graduate course recommendation and found that the hybrid approach improved the recommendations' accuracy compared to using either method alone. In conclusion, prior research has demonstrated that AHP and fuzzy AHP are multi-criteria decision-making methods that can be applied effectively to various higher education objectives [37,38]. Fuzzy AHP methods offer a methodical and objective approach to evaluating and comparing alternative options based on multiple criteria [39]. Several studies have found that fuzzy AHP is more adept than AHP at handling uncertain and ambiguous criteria and alternatives [40]. In addition, several studies have demonstrated that combining AHP and fuzzy AHP can enhance the precision of recommendations [41]. Another study [42] utilized fuzzy AHP to develop a system for the university selection process based on multiple criteria, including networking and knowledge-exchanging capability, general attractiveness, research capability, and commercialization capability. A content-based recommender system was used in a study [27] to develop a ranking system for graduate programs based on program characteristics and university reputation. AHP and fuzzy AHP have also been underutilized in admissions recommendation systems. AHP and fuzzy AHP techniques in a recommender system have not yet been investigated for graduate program recommendations. The comparison of the graduate admission recommender system with the evaluations of the AHP and fuzzy AHP algorithms has not been exhaustively studied, especially using a dynamic multi-criterion for decision-making in actual applications.

Moreover, digital data is readily accessible and can be utilized by recommender systems to collect various types of input data, which can indirectly or directly improve the system's accuracy. Explicit multiple criteria on recommender systems refer to a methodology that employs multiple criteria to evaluate the suitability of various options to provide personalized recommendations to users [43]. Multiple explicit criteria on the methodology of the recommender system provide a robust and sophisticated approach to delivering personalized user recommendations, incorporating multiple decision-relevant criteria. The explicit consideration of multiple criteria in decision-making is essential because the recommender system enables decision-makers to make more informed and rational decisions by evaluating the trade-offs between different criteria [44,45]. Multiple explicit criteria in the recommender system involve designing and developing a set of explicit criteria relevant to users' decision-making processes, such as academic performance, work experience, research interests, and desired outcomes. AHP and fuzzy AHP can evaluate the significance of multiple criteria and calculate the weights of each criterion using a sophisticated technique and explicit methodology. These techniques assist in capturing the

inherent imprecision and uncertainty of human judgments in decision-making processes and provide a more precise and reliable evaluation of the alternatives. Moreover, a dynamic multi-criteria selection is a method that enables users to tailor their multi-criteria preferences and requirements. To the best of our knowledge, no dynamic multi-criteria recommender system utilizing AHP and fuzzy AHP is currently available. In this study, explicit multiple-criteria processing serves as a framework for decisions based on dynamic multiple criteria or attributes. Typically expressed as weights or significance values, the framework for decision-makers must explicitly specify student preferences for different attributes or criteria of the graduate admissions decision.

Numerous studies have been conducted on explicit user preferences in support of a multi-criteria recommender system. Previous studies [46–48] proposed a hybrid method for a recommendation based on enhanced fuzzy multi-criteria collaborative filtering. Integration was restricted to an explicit item-based ontological semantic filtering strategy. One study [49] developed an AHP method for multi-criteria decision-making that incorporates TOPSIS (order preference by similarity to the ideal solution) techniques. AHP computes the global weights of each criterion and sub-criterion, which are inputs for the TOPSIS method. The explicit weights of the selected criteria were considered, but there is no implicit formulation of uncertainty. While explicit queries of internet users and search engines filter out various pages and types of data, recommender systems may not achieve the users' preferences [50], particularly when explicit user preferences are applied.

Therefore, this study proposes a novel approach for solving this research gap by employing bit representations on explicit criteria of graduate admission recommender systems utilizing AHP and fuzzy AHP. Despite the fact that AHP has many limitations, the selection of AHP as a decision-making method in this study will allow us to explore numerous gaps and potential solutions. Obviously, students' preferences are factored into the examination of graduate admission criteria study procedures. The explicit criteria are broken down into a hierarchy of criteria, sub-criteria, and alternatives to facilitate a systematic decision-making process. The hierarchical structure, pairwise comparisons, and aggregation of preferences contribute to elucidating the decision-making rationale and facilitating discussions between decision-makers. Even though the original MCDM method, such as AHP, can be studied and evaluated, the preference-based prioritization of multi-criteria and alternative supports enables a more comprehensive evaluation of the decision alternatives. Bit representations, a form of encoding that transforms the original data into a binary representation, have been used to improve the efficiency of these methods. In the context of recommender systems, this study also introduces the use of bit representations to express a data structure for explicit criteria, which is an original method for dealing with binary data. Using AHP and fuzzy AHP, this study presents the design and development of an original graduate admission recommender system. For the AHP and fuzzy AHP systems, a comprehensive dynamic criteria list of recommended universities for students interested in applying to the information technology department is compiled by user needs. This set of recommendations is used for comparing the recommendations and actual admission outcomes of students' study decisions. Our proposed system intends to develop a bit-representation–based recommender system for graduate admissions utilizing AHP and fuzzy AHP algorithms to evaluate explicit admission criteria, provide personalized program recommendations, and overcome the limitations of existing graduate admission recommender systems in terms of the accuracy, efficiency, and suitability of the admission recommendations for individual needs.

Based on software engineering principles for decision-support systems, this investigation measured the dynamic multi-criteria recommender system of graduate admission in the system design and evaluation of actual system testing. The study served as a guideline or framework for examining the success of software architecture design, system development, and the accuracy of recommendation outcomes that affect an individual's decision-making regarding innovations and information systems. To comprehend the objectives, the following research queries are defined.

Research question 1: What can the software architecture and design do to support the AHP and fuzzy AHP recommender system, which promises up to eight dynamic multi-criteria with explicit user preference definitions?

Research question 2: What are the available criterion requirements for a multi-criteria graduate admission recommender system, and the top five most desirable criteria?

Research question 3: What are the differences in accuracy between AHP and fuzzy AHP recommender systems for graduate admission to master's degree and doctoral programs based on explicit multi-criteria?

The research contribution improves the accuracy of the recommendation by incorporating multiple explicit criteria to better match students with universities that meet their preferences and needs. The application of AHP and fuzzy AHP enables a more objective and systematic evaluation of admission criteria, whereas the use of bit representations enables the incorporation of binary data into the decision-making process. By providing accurate and personalized recommendations for graduate admissions based on AHP and fuzzy AHP, the graduate admission recommender system allows them to contribute to multiple sustainable educational admission systems. First, the proposed recommender system can optimize the allocation of educational resources to ensure that students are matched with programs that align with their personal information, such as their interests, preferences, capabilities, skills, and career objectives. By minimizing human capital loss, students can achieve success and have a positive impact despite inefficiencies and resource waste. Studying demotivation and dropout rates can be decreased. Second, the system dynamically considers a variety of student multi-criteria and preferences, including factors such as university popularity, academic staff, and sustainability initiatives. Thirdly, the system promotes sustainable practices in the curriculum and campus operations because students are guided to programs that prioritize sustainability and provide quality education. Finally, the system can contribute to long-term career satisfaction and success by recommending admission programs that align with students' career objectives. When students pursue careers that align with their interests and aspirations, they are more likely to make significant contributions and positively affect societal, economic, and personality challenges.

The remainder of this article is organized as follows: In Section 2, the data and methodology supporting the design, development, and evaluation of accuracy with explicated criteria integration are presented. Section 3 outlines the methodology for designing, developing, and evaluating AHP and fuzzy AHP recommender systems. The actual implication of the AHP and fuzzy AHP recommender system is summarized and discussed in Section 4. Section 5 summarizes the evaluation results of the actual user tests for the graduate admission recommendations for Thailand's master's degree programs.

2. Materials and Method

This section describes the research methodology used to demonstrate the design, development, and evaluation of the AHP and fuzzy AHP recommender system for graduate admission based on explicit multi-criteria decision-making, as depicted in Figure 1.

A practical comparison of AHP and fuzzy AHP accuracy results is proposed to validate the performance analysis for a sustainable method of software evaluation: reviewing current graduate admission problems and challenges, reviewing decision algorithms and techniques, designing explicit criteria of graduate admission preferences, proposing the bit representations of explicit criteria, developing the graduate admission recommender system, admitting AHP and fuzzy AHP for ranking criteria, evaluating the actual use of the system based on accuracy scales, and comparing the AHP and fuzzy AHP techniques, and summarizing the results.

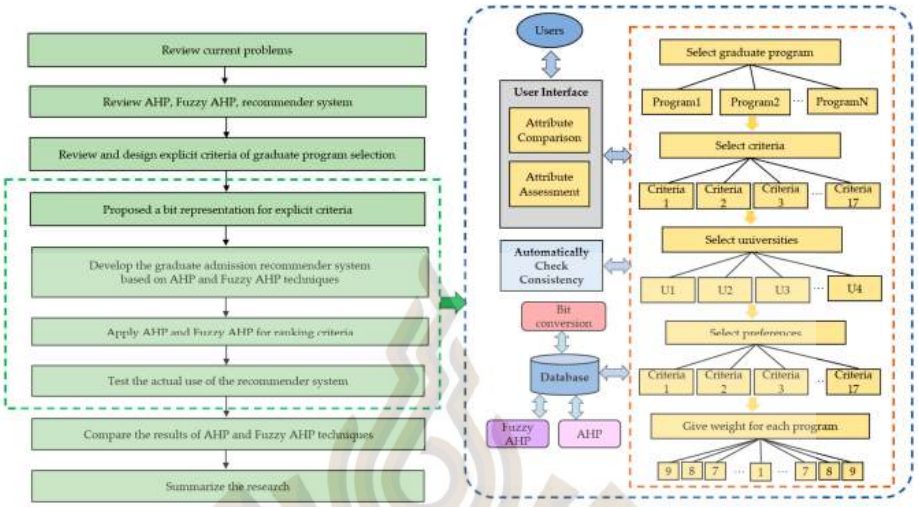


Figure 1. Research methodology.

2.1. *Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Analytical Hierarchy Process Studies*

AHP is a method for making multi-criteria decisions that assist decision-makers in choosing between alternatives. The analysis processes of AHP consist of a definition of criteria, a matrix comparison of criteria, a weight calculation of criteria, and a summarization of the optimal weight. The method involves breaking down a complex problem into a hierarchy of criteria and alternatives and then evaluating the relative importance of each criterion and alternative [51]. AHP uses pairwise comparison matrices to evaluate the relative importance of the criteria and alternatives and then calculates priority vectors representing each element's relative importance in the hierarchy. This method allows for comparing multiple options based on a combination of criteria and can provide recommendations based on the most important criteria [52,53].

The AHP, first proposed by [54,55], can evaluate effects qualitatively and quantitatively. Reflecting the influence of each factor, the AHP model consists of an object layer, a ruler layer, and a factor layer. Establishing an analytic hierarchy model based on relative factors, creating an assessment matrix using Equation (1), calculating the weight coefficients of each factor using Equation (2), validating the consistency ratio (CR < 0.1) of the judgment matrix using Equation (3), and determining the comprehensive weight coefficient for each factor are the primary steps of AHP.

$$A_u = (a_{ij})_{nxn} = \begin{pmatrix} 1 & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & 1 & \vdots \\ a_{1n} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

where a_{ij} is the relative value of the i factor to the j factor, which ranges from 1 to 9, and their reciprocals. On the basis of the evaluation matrix, the weight of each factor can be determined. The scale is divided into a series of intervals that correspond to different levels of importance. The intervals are defined as follows: 1 → Equal importance, 2 → A little more importance, 3 → Moderately more importance, 4 → Considerably more importance,

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

5 → Strong importance, 6 → Very strong importance, 7 → Extremely strong importance, 8 → Near absolute importance, 9 → Absolute importance.

$$w_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^{n} M_i} \tag{2}$$

where w_i is the weight coefficient of each factor; $M_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^{n} a_{ij}}$.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_i CI_i}{\sum_{j=1}^{n} a_i CR_i} \tag{3}$$

where $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}$; λ_{max} is the largest eigenvalue of the judgment matrix; n is the dimension of the judgment matrix. According to [53,54], the judgment matrix is reasonable when the value of the consistent ratio (CR) is less than 0.1; whenever the value of CR is greater than 0.1, the judgment matrix is unreasonable and must be recalculated.

Fuzzy logic is a method for processing uncertain and imprecise data and information. Decision-makers who must make a choice under uncertain conditions can utilize fuzzy AHP. Based on [36], the primary processes of an AHP model can be expanded to support a fuzzy AHP model. The primary algorithm of a fuzzy AHP model focuses on a Fuzzy pairwise comparison matrix. By synthesizing the criterion weight, defuzzification can be computed in the output of the fuzzy weight sets to facilitate accurate decision-making. The combination of fuzzy mathematics and the analytic hierarchy process aims to address issues of uncertainty and imprecision via the fuzzy analytic hierarchy process [56]. Fuzzy sets and AHP have been utilized to address a portion of AHP's human opinion deficiencies.

Fuzzy AHP theory provides decisions through approximate information and uncertainty in human reasoning. In the decision-making process, ambiguity is always present. Good decision-making models can compensate for a factor's vagueness. Equation (4) shows that an objected feature matrix characterizes a fuzzy set model. To consider the relative membership degree of judgment factors, the objected feature matrix must be transformed into a relative membership degree matrix, as illustrated by Equation (5).

$$B_p = (b_{ij})_{nxn} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{pmatrix}_p \tag{4}$$

where B_p represents the objected feature matrix and b_{ij} represents the score of j plan to i factor as determined by an expert's score.

$$R_p = (r_{ij})_{nxn} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix}_p \tag{5}$$

where R_p represents the relative membership degree matrix, and r_{ij} represents the relative membership degree of j for the i factor.

The value comparison matrices used for weight calculation in fuzzy AHP approaches are also used in ranking the available alternatives along with the scores obtained from the alternatives in each criterion at a later stage. The fuzzy AHP method, on the other hand, uses a scale that ranges from 0 to 1 to represent the degree of membership of an alternative or criterion to a particular level. This scale is divided into a series of intervals corresponding to different membership degrees. Thus, the primary process is derived from comparison matrices of the weights [32,57]. The nine scores represent the relative importance of the

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University

factor contributing to selecting a graduate program based on the importance criteria (from 1 = equal importance to 9 = extremely strong importance), as shown in Table 1.

Table 1. Definitions of quantitative scales adapted from [58].

Intensity of Importance	Definitions
1	Equal Importance
3	Moderate Importance
5	Strong Importance
7	Very Strong Importance
9	Extremely Strong Importance
2, 4, 6, 8	Intermediate Value between Previous Levels

Hierarchy Process (AHP) and fuzzy AHP decision-making techniques depend strongly on quantitative scales. These scales facilitate the quantification of the relative significance or preference of various alternatives or criteria. In AHP and fuzzy AHP, scales assign numeric values to various levels of importance or preference.

A particular linguistic term has defined scales. Levels of linguistic terms also correspond to the scales described in relation to set series. These scales connect numerical and verbal expressions. Five-level, 7-level, and 9-level scales for scale selections are also being implemented [58,59]. Most of the research utilizes the 9-level scales shown in Figure 2, adapted from Zadeh [60]. The use of quantitative scales provides a structured and consistent framework for evaluating alternatives or criteria based on their relative importance or preference in both approaches. The numerical values assigned to various levels of significance or membership are used to calculate weighted scores for each alternative or criterion, which are then applied to make informed decisions.

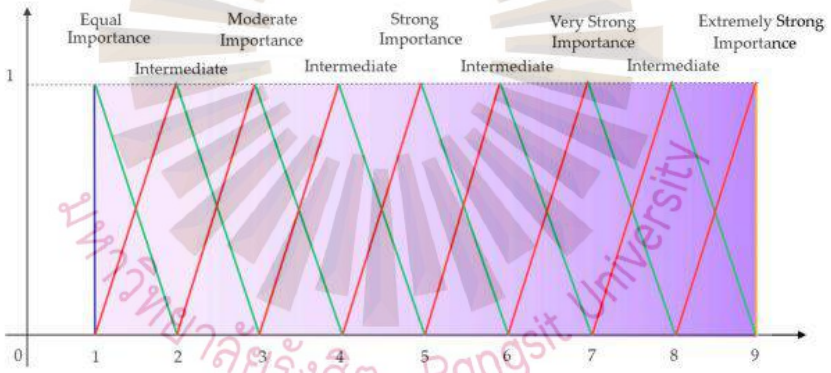


Figure 2. Scale Selection of 9-level.

AHP and fuzzy AHP are multi-criteria decision-making techniques that can be incorporated into a recommender system for choosing a postgraduate program. As shown in Figure 3, the hierarchical structure of AHP and fuzzy AHP is designed to evaluate alternatives and criteria systematically and objectively. The three levels of the AHP's hierarchical structure are the objective, the criteria, and the alternatives. The objective is the overarching purpose of the decision-making procedure. The criteria are significant factors in achieving the objective, while the alternatives are the available options for achieving the objective. The criteria and alternatives are organized under the objective. Each hierarchy level is

evaluated with a pairwise comparison matrix. The pairwise comparison matrix compares the relative significance of each element at the same level. The matrix is a square matrix with diagonal elements set to 1 because each element is equally significant. The off-diagonal elements represent the importance of one element in comparison to another. A scale of values is used to determine the relative importance of elements. The eigenvector method determines the relative weights of the criteria and alternatives following the completion of the pairwise comparison matrix.

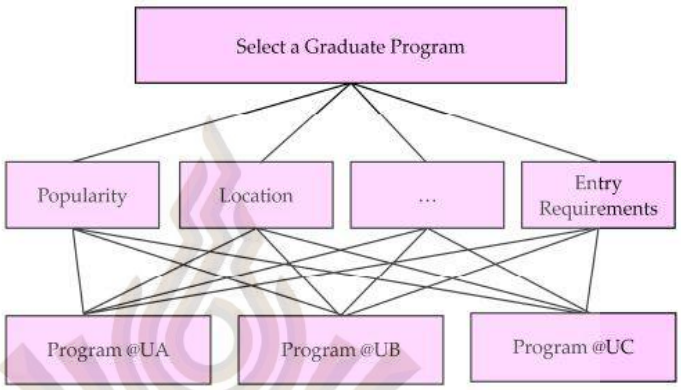


Figure 3. Hierarchy structures of AHP and fuzzy AHP for recommender system.

Fuzzy AHP is an extension of AHP that can handle ambiguous and uncertain criteria and alternatives. In fuzzy AHP, the hierarchical structure is comparable to that regarding AHP, except for replacing the matrix of pairwise comparisons with a fuzzy pairwise comparison matrix. The fuzzy pairwise comparison matrix enables decision-makers to express their views more flexibly than in AHP. The values in the matrix are expressed using linguistic terms such as "very important", "moderately important", and "slightly important". The fuzzy set theory represents values as fuzzy numbers to account for uncertainty in the pairwise comparison matrix. The fuzzy numbers are then utilized to determine the relative weights of the criteria and options. To aggregate criteria and alternatives, the weighted sum method is applied.

In conclusion, the hierarchical structure of AHP and fuzzy AHP provides a methodical and objective evaluation of alternatives and criteria. Fuzzy AHP employs a fuzzy pairwise comparison matrix to address uncertainty and ambiguity, whereas AHP employs a pairwise comparison matrix. Both approaches may be utilized in a recommender system for selecting a postgraduate program.

2.2. Recommender System in Education

A recommender system is an information system of user decision-making that can recommend information and services based on the preferences of each individual user [13,61]. The principles of recommender systems address issues of information overload and complex decision-making by using information filtering to support data prediction and to recommend user alternatives in numerous interest areas [62]: for instance, agriculture [36,63], logistics [64], product [13,65], and society [66,67].

The recommender systems in education have proposed particular approaches and methods with many objectives. A study [36] proposed a recommender system for course selection based on two statements: course taken (1) and course not taken (0). By evaluating the system's accuracy, Top-N algorithms have been developed, but not enough to summa-

rize each course's weighting decision. Dahdouh et al. [68] applied association rules of data mining techniques for course recommendation, which did not prioritize the selection and preferences of criteria based on the interests of users. Numerous researchers have investigated e-learning recommender systems to support hybrid recommendation strategies. Combining weights, feature combinations, and filtering could improve the performance of the methods [69,70]. Camacho and Alves-Souza [71] compiled papers utilizing social network data to mitigate the cold-start issue resulting from insufficient items or learners to initiate a recommender system.

Moreover, some studies have focused on using AHP in a scholarship-recipient recommendation system to provide a systematic and objective approach for evaluating and comparing alternative options based on multiple criteria [72]. A study [73] proposed an AHP-based recommender system for the best graduate student that performed best on competence graduate studying. The study also found that the AHP-based approach provided accurate recommendations for applicants, and it was able to handle the multi-criteria problem effectively. Another study [74] proposed an AHP-based decision support system for graduate study programs focusing on the supervision of their parents and student interests, not concerning the accuracy of the recommender system. A study showed the undergraduate admission recommender system using the Top-N approach focusing on general university admission requirements, such as GRE, cumulative GPA, TOEFL scores, GRE scores, and more [75]. The study found that the fuzzy AHP-based approach provided accurate recommendations for the best graduation [76] and university major selection [77]. Fuzzy AHP has been shown handling the uncertain and ambiguous criteria and alternatives.

2.3. Proposed Design of Criteria for Graduate Admission Recommender System

2.3.1. Graduate Admission Criteria Design

In the field of higher education, AHP and fuzzy AHP have been applied to the evaluation and ranking of academic programs and universities. Numerous approaches have been proposed to account for the criterion preferences and recommendation utilization of individual requirements. To fill in data gaps and resolve inconsistencies and erroneous results of evaluation standards, criteria were explicitly centered on the objective system's primary concern. The critiques of the recommender system for graduate admission were analyzed based on the conduct of the students. The research survey opinions were used to generate a set of behavioral patterns that determined university admission information. According to the relevant documents for implementing recommender systems in education [78], the essential elements of user recommendations were learning resources, courses, and educational programs. Elahi et al. [79] created a university recommender system based on the online international student survey of Quacquarelli Symonds [80] using user preferences as rating scales. A Singular Value Decomposition (SVD) algorithm performed well in accuracy and perceived personalization, whereas a K-Nearest Neighbor (KNN) algorithm performed better in novelty. The predictive models were developed to predict the item's rating and recommendation for the chosen university. According to literature reviews, seventeen criteria were established, as shown in Table 2.

Therefore, the recommender system in this study predetermined the criteria to support the development of graduate admissions decisions. Users can dynamically select the multi-criteria decision-making (MCDM) of graduate admission recommendations using up to eight criteria and up to four alternative decisions. A dynamic multi-criteria selection is a method that enables users to customize their multi-criteria preferences and requirements for graduate admission circumstances. Using AHP and fuzzy AHP modules, the recommender system generates, displays, and processes the associated explicit multi-criteria on a dynamically generated selection screen.

Table 2. Proposed criteria of graduate admission recommender system.

Criteria Code	Criteria	Definition	References
C1	State/Private University	Types of higher education institutions will be based on considering the original affiliation, establishment objectives, and the target students' group. It is divided into state universities and private universities.	[21]
C2	Popularity/University Reputation	The wide popularity and reputation of the university will be based on consideration of the university ranking from various criteria on both national and international levels. This includes statistics on the number of students that reflect students' interest in further study.	[21,80–85]
C3	Location of University	The university location will be related to distance, transport routes, and the proximity to amenities such as trains and department stores, among others.	[21,81,84–86]
C4	Entry Requirements/Eligibility to Apply	This includes eligible candidates who will apply or who fit the eligibility criteria in each study plan as required by the curriculum. Thus, if one of these is missing, applicants will not be able to apply for further study; for example, completing the required degree, cumulative average grade, and other additional qualifications according to the course requirements.	[81,86]
C5	Length of Study/Course Duration	The total number of credits and the study period specified by the course as specified based on the academic year or semester in case the student studies beyond the course duration. Tuition fees may be charged, or they must maintain their educational status until graduation.	[81]
C6	Class Time/Flexibility of Timetable	Class schedule and flexibility in scheduling to accommodate the needs of students, such as weekdays, Saturday–Sunday, or schedules that can be agreed with the instructor later based on the majority of students' demands. This includes studying thesis subjects where students can report directly to their advisors.	[84]
C7	Education Language	Languages used for the class include Thai and English, which may be related to the curriculum; for example, English is the primary language for international programs.	[21]
C8	Condition of Publications/Programs Offered/Academic Quality/Preparation for Graduation	Conditions for publishing academic works include the number of works and the level of publications both nationally and internationally, such as peer-reviewed journals or academic publications. It also includes the publication at an academic conference with an article evaluation system with external committees participating in screening, including a full research article as a continuation of the academic conferences (proceeding). This includes course support during study or research and the quality of academic work, following the curriculum's requirements, and various preparations for graduation.	[80,81,86]
C9	English Scores	Criteria for submitting English language test scores from English language testing institutes according to announcements specified by the university, such as TOEFL, IELT, CEFR, or other conditions for enrollment in English courses. This is for graduate studies to measure English proficiency if the test scores cannot pass the specified criteria. The course may specify the period for submitting the score results before the study, the start of the thesis topic exam, or before graduation.	[81,87]

Table 2. *Cont.*

Criteria Code	Criteria	Definition	References
C10	Academic Staff	The expertise of academic personnel, including instructors, researchers, professors, and program personnel, reflects the readiness to advise on research to graduate according to the study plan. Moreover, this also includes the availability of support for students to apply for national or international research grants.	[21,81]
C11	Technological Facilities	Technology learning support includes research tools and equipment, a computer service room open 24 h, multimedia services, a journal database system for overseas, and practical training courses on software packages and support for IT Certificate exams and professional qualification certificates.	[21,81,85]
C12	Connection with Foreign Universities	Cooperation networks with overseas companies and educational institutions, teacher and student exchanges, joint research, and co-curricular arrangements based on a memorandum of understanding, as well as opportunities to participate in study-abroad programs or internships with partner networks.	[21]
C13	Cost of Program/Tuition Fee/Cost of Tuition	Tuition fee or estimated total tuition fees throughout the study until graduation, including payment terms and tuition fee installments which cover a group of ordinary and provisional students (if any).	[81–84]
C14	Scholarship Opportunities/ Financial Assistance	Opportunities for scholarships, grants, or financial support to students in various fields during studies, such as full scholarships, research assistant scholarships, teaching assistant scholarships, and scholarships to support research both in the country and abroad. This also includes scholarships for presenting works nationally and internationally, scholarships for journal publication, monthly living allowance, or scholarships from various agencies.	[21,81,86]
C15	Promotion or Discount	Promotional campaigns or discounts for those interested in further studies, such as credit reductions, alumni discounts, discounts when applying within the specified time (early bird), or other special discounts.	[81]
C16	Application Fee	Application fees include admission fees, entrance examination fees, and English proficiency test fees.	[80,84]
C17	Admission Processes	Admission process for those interested in further study and the application period for both early and late semesters, as well as recruitment channels and contact channels to see the order of consideration, such as written examination, interview for readiness and graduation opportunities, and testing knowledge related to the program. Some programs may have a procedure for submitting a letter of acceptance as a thesis advisor from a faculty member to be eligible to study.	[81,84]

2.3.2. Bit Representation of Explicit Criteria Decision-Making

Bit representation is a data structure used to represent information as a sequence of bits or binary digits. Each bit has two possible values, either 0 or 1, and can be used to represent Boolean values such as TRUE or FALSE or to represent binary numbers. Table 3 illustrates an example of a bit-representation data structure with 20 user-collected samples, each representing an 8-bit criteria series. The criteria bit is known as the consistency bit for criteria (CCB). The values in Table 3 are either 0 or 1, representing the absence or presence of a particular criterion. The first sample, for example, contains eight bits of 10011100. The first bit in each row represents criterion C1. The first column contains the value 1 for C1, indicating that it is TRUE or that a user selected the criteria, while the second column contains the value 0, indicating that C2 is also FALSE. The value of 0 in the third column indicates that C3 is also FALSE, whereas 1 in the fourth column indicates that C4 is TRUE.

The fifth and sixth columns contain the value 1, indicating that C5 and C6 are TRUE. The seventh and eighth columns contain the value 0, indicating that C7 and C8 are also FALSE.

Table 3. Samples of criteria selections using bit representations.

Samples	Criteria								Samples	Criteria							
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0	0	1	1	1	0	0	**11**	0	0	0	1	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	1	**12**	1	0	0	0	0	1	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	**13**	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	1	1	0	0	0	0	0	**14**	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	**15**	1	0	1	0	0	1	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	**16**	1	1	1	0	0	0	0	0
7	1	1	0	0	0	0	0	0	**17**	0	1	0	1	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	1	0	0	**18**	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	**19**	1	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	**20**	0	0	1	0	1	1	0	0

By integrating binary data in selection criteria, bit representation data structures are commonly used to store and manipulate large amounts of data efficiently, particularly in NoSQL (Not Only SQL (Structured Query Language)) databases. For instance, bit representation can be used to represent features or attributes of a dataset, which can then be converted from a 2-bit binary number to an n-bit binary number. The authors assume that each collection string in a binary representation contains 32 bits.

As shown in Figure 4, an example of the bit representation supporting up to eight criteria, the bit string consists of a criteria preference bit (CPB) for 24 bits and a criteria consistency bit (CCB) for eight bits. The CPB is comprised of eight criterion indexes. Each block must have three binary digits. Depending on the three binary codes, a block of criteria index can be converted into the number of criteria definitions and criteria preferences. For instance, the first block's three binary strings can convert from binary code to decimal code from 010 to 2. Therefore, the conversion of the first criteria index reveals that the criteria definition is C1 and that C1's criteria preferences are 2. The CCB section is used for error correction and verification of the user-selected explicit criteria to ensure data consistency of the explicit bit CPB section. For instance, the definition of criterion C1 is explicitly defined as the second most preferred criterion. The CCB has confirmed that the first bit has the value 1.

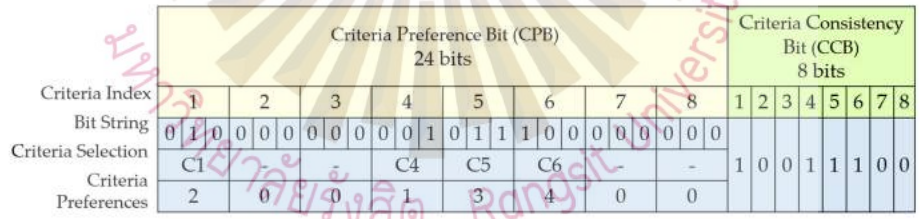


Figure 4. Example of data structure of eight criteria conversion using bit representation.

By combining the digital number of 32 criteria bits from the example in Figure 4, the binary number 01000000000101110000000010011100 represents the integer value $107{,}524{,}930{,}810_{10}$. Conversion from binary to base-10 is:

$01000000000101110000000010011100_2 = (0 \times 2^{31}) + (1 \times 2^{30}) + (0 \times 2^{29}) + (0 \times 2^{28}) + (0 \times 2^{27}) + (0 \times 2^{26}) + (0 \times 2^{25}) + (0 \times 2^{24}) + (0 \times 2^{23}) + (0 \times 2^{22}) + (0 \times 2^{21}) + (1 \times 2^{20}) + (0 \times 2^{19}) + (1 \times 2^{18}) + (1 \times 2^{17}) + (1 \times 2^{16}) + (0 \times 2^{15}) + (0 \times 2^{14}) + (0 \times 2^{13}) + (0 \times 2^{12}) + (0 \times 2^{11}) + (0 \times 2^{10}) + (0 \times 2^{9}) + (0 \times 2^{8}) + (1 \times 2^{7}) + (0 \times 2^{6}) + (0 \times 2^{5}) + (1 \times 2^{4}) + (1 \times 2^{3}) + (1 \times 2^{2}) + (0 \times 2^{1}) + (0 \times 2^{0}) = 1075249308_{10}$.

The database system can then record the integer value instead of the entire binary number or the user-selected array values. Additionally, bit representation can be used in cryptography and security, where data encryption algorithms employ binary digits to represent encrypted data. In networking protocols, where data is transmitted as a series of bits over a network, a bit representation can also be used. The use of bit representation has the benefit of saving space and reducing storage needs while facilitating access. In addition, the bit representation automatically encrypts user data. To decrypt data, it is necessary to understand the meaning of bit representation. A disadvantage of bit representation is the difficulty for humans to interpret, process, and manipulate large amounts of data. In addition, since each bit has only two possible values, it may not be suitable for representing continuous or analog data, such as temperature or sound, because each bit can only take on one of two values. The actual data of this study was stored on MySQL database system using BIT datatype of 32-bit values, which is equivalent to one field of unsigned integer datatype.

2.3.3. Explicit Multi-Criteria Recommender System Architecture

The explicit multi-criteria recommender system is a responsive web application designed to aid graduate admissions management and decisions through a Platform as a Service (PaaS) [88]. As depicted in Figure 5, the system architecture of the graduate admission recommender system utilizing Vue.js, Node.js Express, and MongoDB with AHP and fuzzy AHP algorithms can be divided into two main compartments (front-end and back-end components). The front-end application is built on the Vue.js platform. The web application is responsible for the user interfaces of the system, which allow users to interact with the system via the design of the web pages and the graphical user interface. The front-end and back-end systems communicate using the RESTful APIs provided by the Node.js Express server. Node.js Express and MongoDB are used to develop the back-end system. The recommender system stores and retrieves information such as university names, graduate programs, criteria preferences, and criteria using MongoDB as its primary database. The user's criteria data is encrypted and decrypted using a bit-representation approach. The binary numbers are identified to support user's criteria selection. The bit conversion processing can transform into integer values. The web application handles the system's business logic, including data storage, data processing, and algorithm implementation. The front-end system consists of a user interface module. The back-end system consists of three systems, including Vue.js, Node.js, and MongoDB. The vue.js consists of two parts, including administrator and user modules. The administrator's modules have the graduate program data management and the criteria decision data management modules. The user's modules consist of six modules, including the graduate program data selection, the criteria decision selection, and the AHP and the fuzzy AHP modules of multi-criteria decision-making, evaluation criteria, calculation criteria weights, and graduate program ranking. Figure 6 illustrates the overall system using a use case of a multi-criteria graduate admission recommender system.

The graduate program management module is responsible for managing the available graduate programs and universities. The system allows administrators to add, edit, or delete programs and universities, as well as define each program's admission requirements and information. However, there were only eight universities and doctoral and master's degree programs in this experiment.

The criteria management module handles the graduate recommender selection criteria. Administrators are able to add, modify, or delete criteria and define the default weights for each criterion.

The client management module is responsible for managing user accounts and authentication, which enables users to create accounts, sign in, sign out, and utilize the recommender system. A user interested in applying to graduate programs can interact with the recommender system to receive university suggestions based on explicit multi-criteria user preferences. In addition, the AHP and fuzzy AHP algorithms were utilized to determine the weighted rankings of the graduate admission programs that met the criteria and to generate program recommendations for the students. Finally, the system can generate recommendations for graduate programs based on the student's profile and the explicit weights assigned to graduate admission criteria.

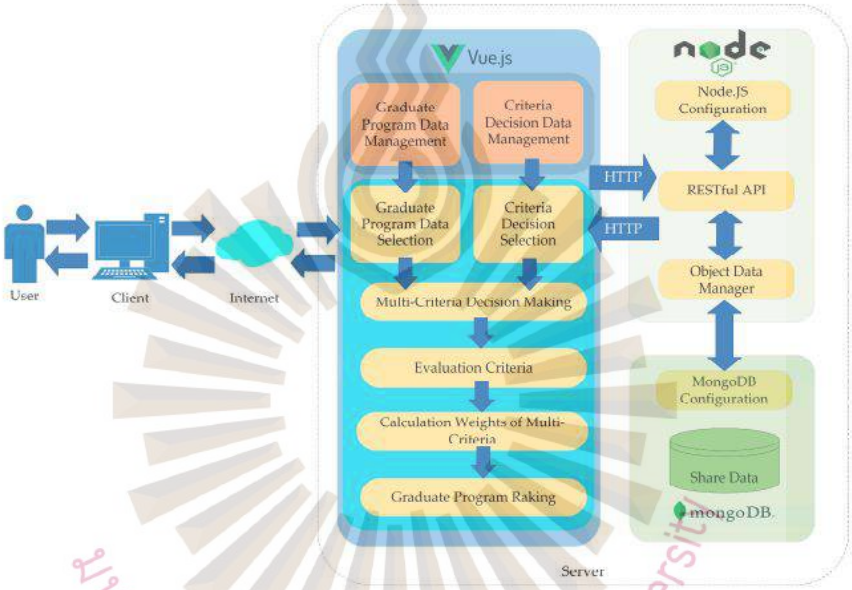


Figure 5. System architecture of responsive web application for graduate admission recommender system.

2.3.4. Information Flow Diagram of Explicit Criteria Graduate Recommender System

As depicted in Figure 7, the information flow diagram (IFD) of the explicit criteria graduate recommender system is designed to provide a seamless and user-friendly experience for identifying suitable graduate programs. The principles of IFD novelty deliver a unified visual representation of system architecture, data and information flow, processes, database systems, user interfaces, and user interaction with the system [89–92] that can be used to describe the entire related design and development in this study. The system design can perform up to any number of criteria selections. However, from user interviews, the number of user criteria selections concluded that the maximum selections of up to eight criteria were satisfied for all 80 users. The user can decide on up to eight specific requirements from a dynamic list of criteria based on the program's significance. The system then

generates a page where the user's preferences for each selected criterion can be specified. After the user has selected the pertinent criteria, they can begin by selecting multiple criteria and explicit criteria preferences. The user then inputs the scores for each pairwise admissions criterion for graduate programs. Then, a user can select graduate programs of interest and specify unambiguously preferences. The system calculates a weighted score for each university based on the user's preferences and displays the recommendation results by ranking and using a chart, providing the user with an easy-to-understand ranking of the universities. The user interface is designed to ensure that the user can navigate the system easily, searching for the most suitable program effortlessly. In the context of a recommender system, the dynamic criteria section refers to factors open to change over time and can affect the recommendation process. One way to describe the dynamic criteria section of the recommender system is to identify the types of possible changes and how they may impact the recommendation process. Changes in user preferences, item availability or popularity, and the significance of particular attributes could be examples of dynamic criteria. To accommodate these dynamic criteria, the recommender system can be designed to incorporate real-time data and adapt the recommendation procedure accordingly. For instance, if a user's preferences change, the system can update the user's profile and make appropriate adjustments to the recommendations. However, the design is required to assess the accuracy of the design's effectiveness for the dynamic criteria of the recommender system, particularly for graduate admission.

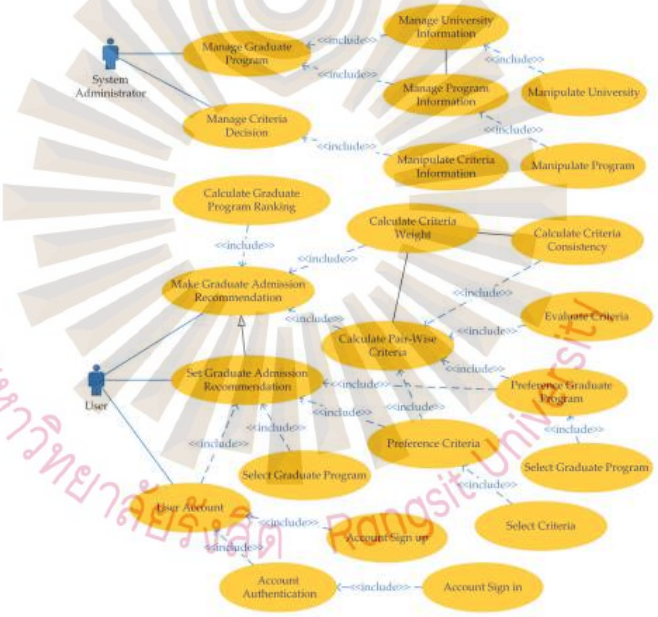


Figure 6. Use case of multi-criteria graduate admission recommender system for AHP and fuzzy AHP.

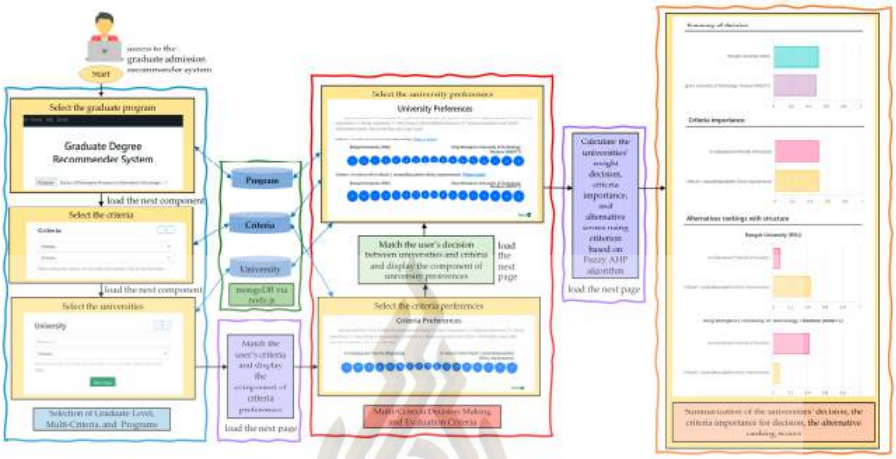


Figure 7. Information flow diagram of explicit multi-criteria graduate recommender system.

2.4. Evaluation and Data Collection

Evaluation and data collection are important for developing and enhancing a recommender system. The primary focus of this study is the individual user-selected program recommender system based on multiple dynamic criteria explicitly defined for a graduation admission recommendation. The actual testing system is then accumulated to determine the recommendations' accuracy rate. The eighty graduate applicants' students were invited to test the recommender system. All students have studied Information Technology in master's and doctoral programs. The recommendation results of the dynamic multi-criteria recommender system for graduate programs are validated against the graduate programs in which students are currently enrolled, and true positive and negative results are demonstrated. This study compared AHP and fuzzy AHP approaches, and the recommended system was evaluated. The authors demonstrate the probability correctness metrics of the dynamic multi-criteria recommendation for graduate admission using precision, recall, F1-score, and top-N accuracy. Each metric provides a unique perspective on the comprehensive accuracy combination assessment. This study's accuracy scores did not account for false positive and false negative results. Therefore, it is essential to consider evaluation of metrics to understand the system's accuracy comprehensively.

The recommender system forecasts a student's list of universities. The accuracy of recommendations is determined by whether the student applies to and is admitted to the universities recommended. If the student is admitted to a university the system recommends, the recommendation is accurate. If the student decides not to apply to the university suggested by the system, the recommendation is considered inaccurate.

Multiple metrics [93–95], such as precision, recall, and F1-score, are considered when evaluating a recommender system for graduate program recommendations to provide a comprehensive assessment of the system's accuracy. The system's precision is measured by the number of recommended universities to the admitted student. Precision measures the accuracy of the system's positive predictions. It is the proportion of true positive recommendations to the total number of system recommendations. A high precision score indicates that the recommender system provides accurate recommendations and minimizes irrelevant suggestions. Using Equation (6), the precision can be computed.

$$\text{Precision} = \frac{Number\ of\ relevant\ recommended\ items}{Total\ number\ of\ recommended\ items} \tag{6}$$

The recall measures the proportion of recommended universities, and the student makes the admission decision. Recall indicates the system's ability to identify each relevant item in the recommendation. Recall determines the proportion of true positive recommendations relative to the total number of relevant items in graduate admission programs. For graduate admission, the recall metric refers to the proportion of programs the user selects in the preferences and for which the system recommends. In this study, true positive always has a value of 1, representing only the recommendation with the highest weight ranking. A high recall score indicates that the recommender system identifies all relevant items and those that are irrelevant. A low recall score indicates that the system is missing relevant items and may not be appropriate for a recommender system that requires complete coverage of relevant items. Using Equation (7), the recall can be computed.

$$\text{Recall} = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Negative} \tag{7}$$

F1-score is the harmonic mean of precision and recall providing a balanced evaluation metric for the recommender system. F1-score is a practical aim to achieve a balance between the two. The F1-score can be calculated using Equation (8).

$$\text{F1-score} = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \tag{8}$$

System accuracy can also be calculated using Equation (9).

$$\text{System accuracy} = \frac{Correct\ recommendations}{Total\ recommendations} \times 100\% \tag{9}$$

Moreover, top-N accuracy reflects the percentage of recommended items that appear in the list's top-N positions. This metric is useful when the user is presented with a list of recommended items and is instructed to consider only the top N items. This study utilizes top-1 accuracy to determine the proportion of cases in which the top-ranked item has significance to the user. This metric is useful when only the highest-ranked item is considered. Using top-N and top-1 accuracy, user feedback can be used to evaluate the system's accuracy performance. For instance, if the system's top-1 accuracy is high, it recommends the most relevant graduate program as the top-ranked item. Top-1 accuracy quantifies the frequency with which the system recommends the most pertinent item. It is the most stringent metric for evaluating the recommender system, as it requires that the system recommend the best-suited item to the user. When the system is expected to recommend only one item, and it is crucial to recommend the most applicable item to the user, top-1 accuracy is practical.

To evaluate the system performance accuracy of a recommender system, these metrics were calculated to compare recommender systems to determine which one is performing better. Top-N and top-1 accuracy are appropriate metrics for a recommender system that requires a specific number of recommendations and demands high accuracy. The choice of evaluation metrics depends on the recommender system's specific requirements and the expected evaluation results. This study reports multiple evaluation metrics to comprehensively assess the system's performance for a dynamic multi-criteria graduate recommender system.

3. Results

3.1. Descriptive Statistic Results

The demographic data collection of the sample testing group includes various items such as gender, age, education level, institution, degree, and institution degree, as shown in Table 4. In terms of gender, the sample consisted of 59 males (51.25%) and 21 females (26.25%). The age range of the participants was from 22 to 51, with the highest percentage of participants falling within the 32–41 age range (42.50%). The education level of all

participants was undergraduate, with 51 (63.75%). The sample included users from eight universities: UA, UB, UC, UD, UE, UF, UG, and UH. The number of users from each institution was 20 (25%), 16 (25%), three (3.75%), five (6.25%), 19 (23.75%), four (5%), three (3.75%), and 10 (12.50%), respectively. All participants are studying for a doctoral degree, with 29 (36.25%), or for a master's degree, with 51 (63.75%), from UA 15 (18.75%), UB 12 (15.0%), UE 14 (17.50%), and UE 10 (12.50%). Overall, the testing users were diverse in gender, age, and educational background, which could provide a more comprehensive representation of the sample group.

Table 4. Demographic's testing users.

Items	Description	Sample	%
Gender	Male	59	73.75
	Female	21	26.25
Age	22–31	24	30.00
	32–41	34	42.50
	42–51	19	23.75
	>52	3	3.75
Users of Institutions	UA	20	25.00
	UB	16	20.00
	UC	3	3.75
	UD	5	6.25
	UE	19	23.75
	UF	4	5.00
	UG	3	3.75
	UH	10	12.50
Seeking Degree	PhD	29	36.25
	MS	51	63.75
Students Admitted Graduate Degrees of Institutions	PHD-UA	5	6.25
	PHD-UB	4	5.00
	PHD-UC	3	3.75
	PHD-UD	5	6.25
	PHD-UE	5	6.25
	PHD-UF	4	5.00
	PHD-UG	3	3.75
	PHD-UH	0	0
	MS-UA	15	18.75
	MS-UB	12	15.00
	MS-UE	14	17.50
	MS-UH	10	12.50

Note disclosure universities' name, location, and user information. However, the universities are private and public universities in Thailand.

3.2. Dynamic Multi-Criteria AHP and Fuzzy AHP Results

During system usage and recommendation processing, the dynamic multi-criteria recommender system for graduate admission confirmed that users could select multi-criteria based on their explicit criteria preference justifications and graduate admission interest constraints. The system provides dynamic multi-criteria and multi-criteria ordering preferences. Table 5 demonstrates the bit representations of eighty students' dynamic multi-criteria preferences. Each row's data represents a binary response of a student selecting multi-criteria in differences, where a value of 1 indicates that the criterion was established and a value of 0 indicates that the criterion was not chosen. By analyzing the criteria selection based on various user decisions, the authors discovered that the number of specified criteria ranged from two to eight, representing various dissimilar criteria selections. Even though a few students selected the same criteria, their preferences for those criteria were distinct. For instance, the third, fourth, sixth, and seventh users selected the same two criteria but selected different criteria aspects. The third user chose C6 and C8.

The fourth user chose C2 and C3. The sixth user chose C2 and C10. The seventh user chose C1 and C2. Therefore, the data analysis can provide insight into the dynamic multi-criteria with explicit preferences that users consider to be the most important constraints when selecting an admission to a graduate program via the recommender system.

Table 5. Binary representations on data collection of dynamic multi-criteria decisions from users.

Users	Criteria																
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
11	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
16	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
17	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
...																	
38	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
...																	
80	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

By analyzing the values of Table 5, the most and least important essential criteria were summarized and ranked for the findings of the most interesting criteria selected based on user needs, as shown in Table 6. Exact criteria evaluation based on graduate admission preferences was conducted to determine the preferences of eighty students on seventeen distinct criteria (C1 to C17), indicating varying degrees of user preference and significance for each criterion. Overall, the data analysis reveals a great deal of variation in students' criterion preferences, with no clear consensus on the most important criterion. However, according to the table data, popularity/university reputation (C2) is the most frequently selected criterion and was chosen by 17 users, or approximately 13.71 percent. With 16 selections, the academic staff (C10) criterion is the second most popular among users, accounting for approximately 12.90 percent. The third criterion is the cost of the program/tuition/fees/cost of tuition (C13), which 14 users, or 11.29 percent, selected. The fourth criterion, State/Private university (C1), is favored by 13 users, or approximately

10.48 percent. Class time/timetable flexibility (C6) is the fifth criterion chosen by 12 users, accounting for roughly 9.68 percent.

Table 6. Dynamic multi-criteria of graduate admission preferences based on explicit selections.

Criteria Code	Criteria	Count	Preferred	Percent
C2	Popularity/University reputation	17	0.137097	13.7097
C10	Academic staff	16	0.129032	12.9032
C13	Cost of program/Tuition fees/Cost of tuition	14	0.112903	11.2903
C1	State/Private university	13	0.104839	10.4839
C6	Class time/Flexibility of timetable	12	0.096774	9.6774
C3	Location of university	9	0.072581	7.2581
C4	Entry requirements/Eligibility to apply	8	0.064516	6.4516
C8	Condition of publications/Programs offered/Academic quality/preparation for graduation	8	0.064516	6.4516
C14	Scholarship opportunities/Financial assistance	6	0.048387	4.8387
C9	English scores	6	0.048387	4.8387
C11	Technological facilities	4	0.032258	3.2258
C15	Promotion or discount	4	0.032258	3.2258
C17	Admission processes	3	0.024194	2.4194
C7	Education language	2	0.016129	1.6129
C5	Length of study/Course duration	2	0.016129	1.6129
C12	Connection with foreign universities	0	0	0
C16	Application fee	0	0	0
		Total	1.0	100

Figure 8 displays the exhaustive user data and calculated values of the dynamic multi-criteria recommender system for graduate admission. The results display the first, second, and third weight-ranking scores of alternatives based on AHP and fuzzy AHP for eighty master's and doctoral students who served as test users. The consistency ratio (CR) quantifies decision-making consistency. A CR value below 0.1 indicates an acceptable consistency level. The consistency ratio values are all less than 0.1, indicating a satisfactory degree of consistency in the decision-making process. The majority of individuals had three options for graduate admission to universities, while a few students had four options. The first weight-ranking alternative predicted the highest weight based on the user's explicit preference for multiple criteria. The second and third alternatives for weight ranking were sequence-ordering weight-ranking scores. In comparison to the first weight-ranking alternative of AHP and fuzzy AHP, the results indicate that AHP calculates weight-ranking scores with a broader range or slightly higher values than fuzzy AHP. The trend lines of the first weight-ranking alternative reveal a slight rise for both AHP and fuzzy, indicating that the relative criteria have become significant in calculating the weight-ranking values for both approaches over time. Compared to the second weight-ranking alternative of AHP and fuzzy AHP, the calculated weight-ranking scores for fuzzy AHP have a wider range or are slightly higher. The trend lines of the second weight-ranking alternative exhibit a similar decline for both AHP and fuzzy, indicating that the relative criteria used to calculate the weight-ranking values of both approaches have become insignificant over time. In comparison to the third weight-ranking alternative of AHP and fuzzy AHP, the results indicate that fuzzy AHP calculates weight-ranking scores with greater variability or slightly higher values than AHP. The fuzzy AHP trend line for the third weight-ranking alternative demonstrates a slight increase, indicating that the relative criteria have become increasingly significant in calculating weight-ranking values for the approach over time. In contrast, the AHP trend line for the third weight-ranking alternative demonstrates a slight decrease, indicating that the relative criteria have become irrelevant in calculating the weight-ranking values of the approach over time.

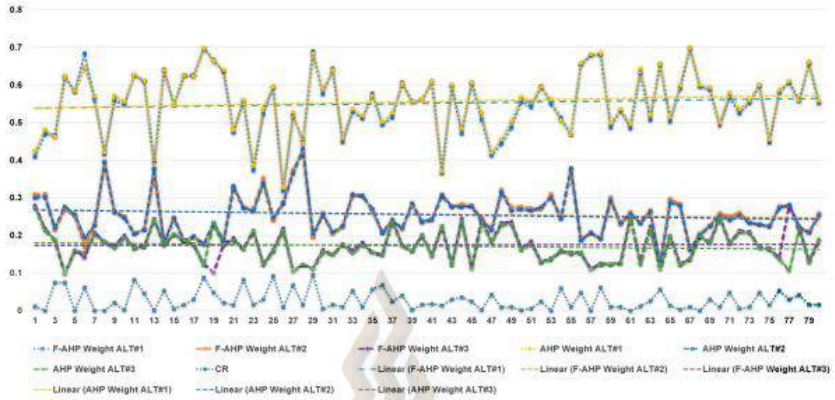


Figure 8. Overall data on calculated weight-ranking alternatives of dynamic multi-criteria recommender systems between AHP and fuzzy AHP approaches.

3.3. System Accuracy Performance Results

The study's findings reveal the system accuracy of the dynamic multi-criteria recommender system for graduate admissions with a maximum of up to eight criteria and up to four alternatives, based on the information responses of 51 test users for master's degree students. The users established explicit multi-criteria preferences and ranked the master's degree program alternatives. Their responses were analyzed utilizing AHP and fuzzy AHP methodologies to determine the weight rankings of alternatives. Figure 9 illustrates the AHP-calculated weighted rankings of the four alternatives. All weight-ranking alternatives are validated using the sum of their respective values, which is always 1. Only four incorrect predictions were made out of fifty-one test cases, indicating that the recommender system could provide reasonably accurate recommendations. The results of all first alternatives indicate that user #38 had the highest weight ranking, with a weighted ranking of 0.701%, followed by user #29, with a weighted ranking of 0.6824. User #13 had the lowest weight ranking, of 0.3706, one of the incorrect predictions, and was therefore ranked last. The finding provides valuable insights into the users' preferences and can aid in decision-making. The accuracy of the predictions was determined by comparing the predicted weight rankings to the graduate programs to which the student was actually admitted. Six users out of 51 made incorrect predictions, resulting in an accuracy rate of 88.24%. Overall, the AHP method effectively determined the relative weights of the alternatives and predicted the recommendations with the most powerful preference.

Based on the master's degree users of 51 students, the study's results present the weighted rankings of four alternatives determined using fuzzy AHP. The test users were asked to rank the alternatives according to their conditional preferences, and their explicit multi-criteria needs were analyzed using fuzzy AHP to determine weight rankings. Figure 10 illustrates the calculated weight rankings for the four graduate admission programs. The sum of all weight alternatives indicates the total weight rankings for every user, which equals 1. The correct dot indicates whether or not the recommendation made by the recommender system was precise, based on the actual graduate program accepted. With only four incorrect predictions out of 51 users, the recommender system provided reasonably accurate recommendations. In calculating the weight rankings of the alternatives based on user responses, the fuzzy AHP methods proved effective. The initial weight-ranking results indicate that user #38 was ranked highest with a weighted ranking of 0.6975, followed by user #29 with a weighted ranking of 0.6808. User #13's first weight ranking of 0.3663 was the lowest of all users. The accuracy of the predictions was determined by

comparing the predicted rankings to the actual graduate program into which the student was accepted. Four incorrect predictions were identified, resulting in an accuracy rate of 92.16 percent.

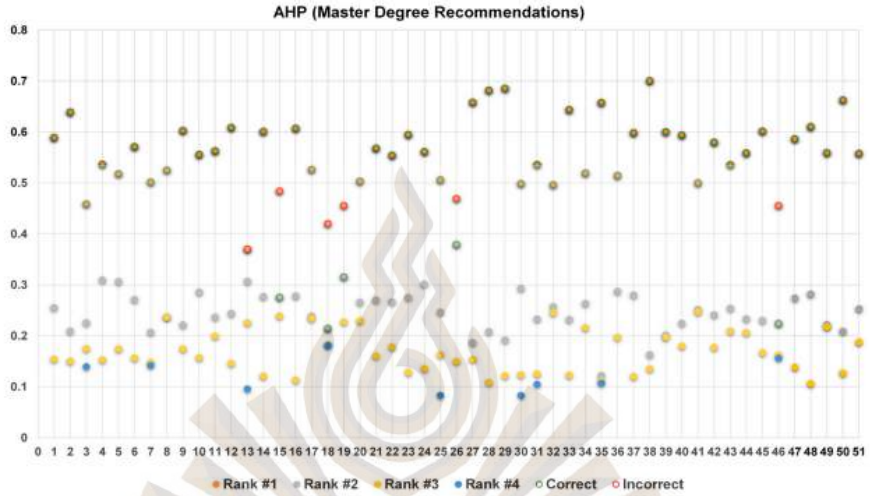


Figure 9. Results of the recommendation accuracy of master's degree using AHP.

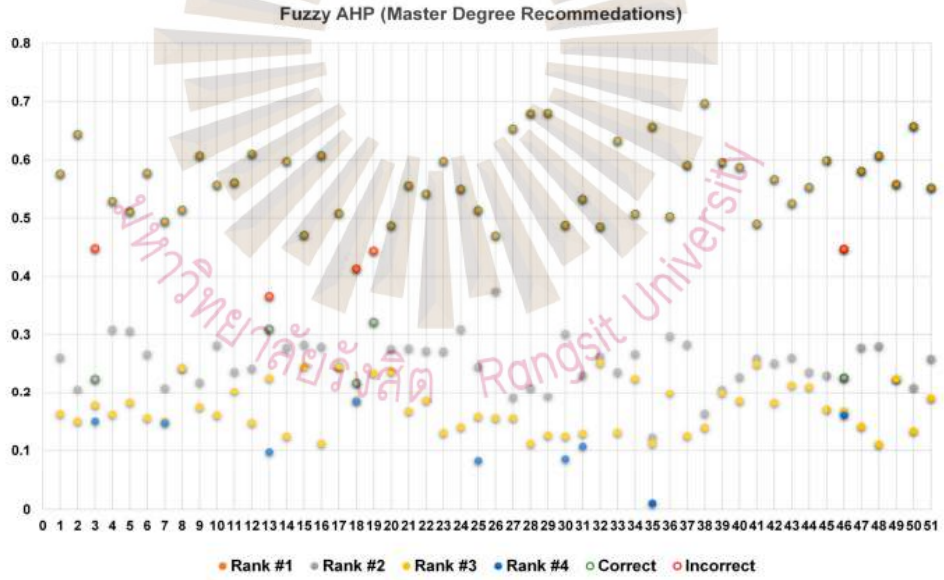


Figure 10. Results of the recommendation accuracy of master's degree using fuzzy AHP.

The study's findings reveal the weighted rankings of up to four alternatives calculated using AHP and fuzzy AHP for 29 test users based on explicit multi-criteria and graduate program preferences for doctoral degree programs. Users of the examination were required to rank graduate programs in order of preference. Using AHP and F-AHP, their explicit multi-criteria conditions and preferences were analyzed to determine the weight rankings of admission recommendations. The weighted sum of all alternatives displays the total weight rankings for every user, which is always 1. Figures 11 and 12 depict the AHP and fuzzy AHP results of admissions recommendations for doctoral programs. Green circle dots represent the correct recommendations. In addition, inaccurate recommendations are represented by red circle dots. Whether or not the user's score recommendations were accurate, based on the actual first weight rankings, they resulted in the same outcome as the students' real doctoral program. The results indicate that the dynamic multi-criteria recommender system provides reasonably accurate graduate admission recommendations, with only four incorrect predictions using the AHP method and three inaccurate predictions using fuzzy AHP out of 29 test cases.

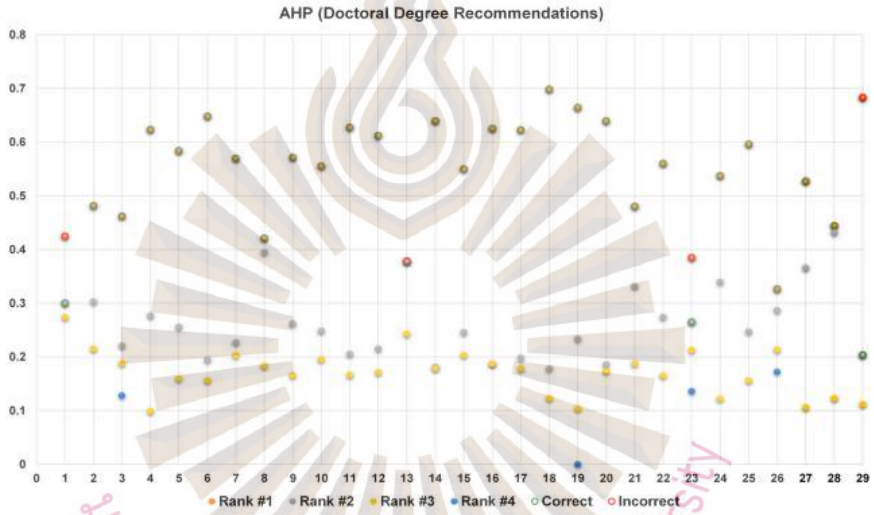


Figure 11. Results of the recommendation accuracy of doctoral degree using AHP.

In calculating the first weighted rankings of graduate recommendations based on explicit multi-criteria of user preference requirements, the fuzzy AHP methods proved effective and accurate. Using the AHP method, the first weighted ranking results indicate that user #18 was ranked highest with a weighted ranking of 0.6989, followed by user #19 with a weighted ranking of 0.6647. User #26 had the lowest first weight ranking, with a value of 0.3269. Employing the fuzzy AHP method, the first weighted ranking results indicate that user #18 was also ranked highest with a weighted ranking of 0.6984, followed by user #19 with a weighted ranking of 0.6676. User #26 also had the lowest first-weight position, with a score of 0.3186. The accuracy of the predictions was determined by comparing the predicted rankings to the actual graduate program into which the student was accepted. The AHP results revealed four incorrect predictions, resulting in a system accuracy rate of 86.21 percent. The fuzzy results revealed three inaccurate forecasts, resulting in a system accuracy rate of 89.66 percent.

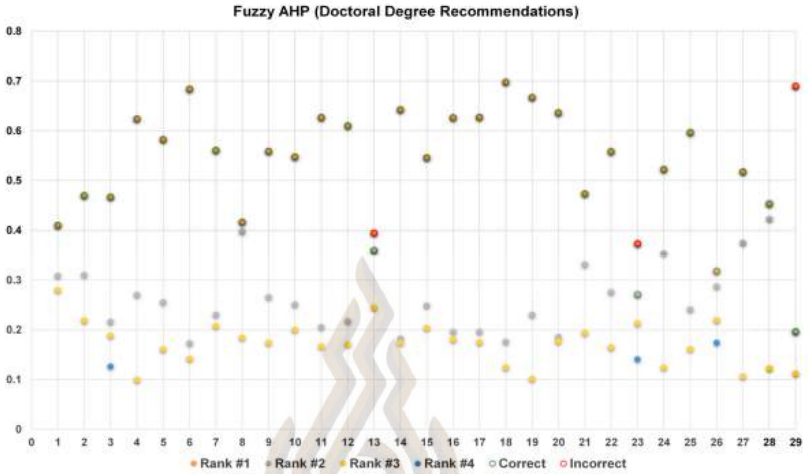


Figure 12. Results of the recommendation accuracy of doctoral degree using fuzzy AHP.

As depicted in Figure 13, Top-1, Top-2, and F1-score can be used to draw the following conclusions based on the accuracy performance analysis of the comparison between AHP and fuzzy AHP approaches on the dynamic multi-criteria recommender system of graduate admission, specifically in the master's degree and doctoral degree admission. The accuracy scores for TOP-1 and TOP-2 are consistently high across all four findings. The overall top-1 system accuracy of the AHP recommender system for graduate admissions to master's degree and doctoral programs is 88.24 and 86.21 percent, respectively. In contrast, the top-1 system accuracy performance of the fuzzy AHP recommender system for graduate admissions to master's degree and doctoral programs is 90.20 and 89.66 percent, respectively. All top-2 system accuracy performances of the dynamic multi-criteria recommender system employing AHP and fuzzy AHP for graduate admission are 100%. The system accuracy scores for the AHP approach for graduate admission recommendations of both master's and doctoral students are slightly lower than those for the fuzzy AHP approach, indicating that the recommender system with the fuzzy approach is more effective and accurate in evaluating the criteria and making decisions. The recommendation results are likely unquestionably appropriate for decision-making for graduate admission to the respective programs. The F1-Score obtained for each of the four methods reveals insignificant differences in system precision, indicating that precision and recall are nearly balanced. Overall, the dynamic multi-criteria recommender system employing the fuzzy AHP approach appears more effective and accurate in suggesting admission to master's and doctoral programs. However, additional analysis and evaluation are required to validate these results and ensure the recommender system's accuracy and dependability.

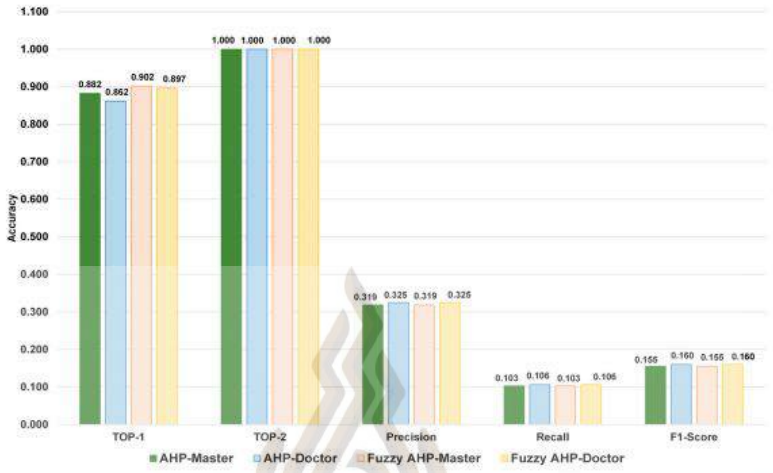


Figure 13. Comparison of the Top-1, Top-2, precision, recall and F1-Score accuracies between AHP and fuzzy AHP with all criteria.

4. Discussion

This study's software architecture is designed with a layered approach [96,97] that separates the presentation layer, application layer, and data layer, allowing for better modularization and scalability and ensuring the system can accommodate a large number of users and data points with a highly customizable and adaptable solution to meet individual user requirements. With a user-friendly interface and intuitive navigation, the system is intended to allow users to easily input their multi-criteria preferences and receive personalized recommendations based on their specific needs. The software architecture and design support the responsive web recommender system for graduate admission. The architecture represents numerous software components pertaining to users, internet connectivity, multi-criteria management, program selection, university selection, decision-making processes, consistency checking, weight calculation, graduate program ranking, server configuration, and database connection and storage. The system was designed and implemented using a software architecture incorporating both AHP and fuzzy AHP approaches to support explicit multi-criteria and provide a robust dynamic multi-criteria recommender system. Our system supports up to eight dynamic criteria with explicit user preference definitions, providing a highly configurable solution and capability to adapt to individual user requirements. This study utilized MongoDB as a NoSQL cloud database service. According to [98,99], NoSQL is a non-relational database that handles a large volume of data with high performance, schema flexibility, availability, data replication, and scalability. A bit string can be divided into a criteria preference bit (CPB) and a criteria consistency bit (CCB) to support binary conversion to n-bit numbers that can save storage space, reduce data misuse, prevent data modification, and support data encryption and decryption. The first set of binary strings consists of the user's explicit selection of criteria, while the second set verifies the consistency of the explicitly preferred and selected criteria.

Several criterion requirements must be met in a multi-criteria graduate admission recommender system to ensure effectiveness and accuracy. Our research uncovered seventeen significant and relevant criteria for a graduate admission recommender system. By comparing the early research on explicit criteria of program selection, this study has found that the top five desirable ranking criteria are university popularity and reputation, academic

staff, and tuition fees, state/private university, and class time/flexibility of timetable as well as the study [81,85]. According to the study, the university's reputation has the highest statistical scores, followed by completion time and academic quality. In addition, study [21] found that the academic staff, university ranking scores, popularity, and facilities have become the most essential factors in deciding where to study. Similar to study [84], structural equation modeling (SEM) was used to examine how university reputation influenced students' choice of university. The results of weight analysis in descending order indicate that university reputation is an essential factor in determining whether to pursue further education, regardless of the country in which the studies are conducted.

In this study, AHP and fuzzy AHP can be used to evaluate and compare the decision-making accuracy results stated in [37,56,58]. This study evaluated the accuracy of AHP and fuzzy AHP recommender systems for graduate admission to master's degree and doctoral programs based on dynamic multi-criteria. The results revealed that both AHP and fuzzy AHP systems had a high degree of accuracy in predicting admission recommendations based on explicitly defined individual criteria. Comparing the recommendation results of 80 user cases between the two systems revealed that the recommender system utilizing the fuzzy AHP approach had a marginally higher system accuracy than the AHP approach. The results of the fuzzy AHP system allow for greater accuracy in recommendations and the justification of uncertainty and imprecision in the graduate admission criteria defined by individuals. Both AHP and fuzzy AHP systems identified the admission recommendation accurately based on the top-1 and top-2 accuracy rankings. The findings suggest that a dynamic multi-criteria recommender system utilizing AHP and fuzzy AHP techniques is an innovative and viable option for developing a graduate admission recommender technique. However, deciding to use one method over another will depend on the institution or organization implementing the system's particular needs and preferences.

MCDM techniques are used to handle the complex decision-making process involving multiple criteria and alternatives. In this study, AHP and fuzzy AHP are compared using weight-ranking alternatives to support the system's accuracy. While AHP is widely used in decision-making scenarios involving complex hierarchical structures and multiple criteria, fuzzy AHP extends AHP to handle imprecise and linguistic information, where decision data involves fuzzy sets or linguistic variables with uncertainty in the decision process [36–38]. However, other techniques and methodologies are available in the field of MCDM approaches, such as ordinal priority approach (OPA), robust OPA, data envelopment analysis–ordinal priority approach (DEA–OPA), and fuzzy and interval OPAs. OPA is used in multiple attributes that can calculate weights and rank experts, alternatives, and attributes simultaneously [100] by avoiding the usage of pairwise comparison matrices, decision-making matrices, and normalization procedures [101]; for example, when a complex recommender system for an educational system is developed. Many criteria should be identified to support various domains, such as admission program selection, interesting research projects, and adviser's research fields. Robust OPA extended to OPA enables it to handle uncertainty and variability in criteria values and conditions [102], such as user preferences, criteria weights, data accuracy, and prediction accuracy. The graduate admission recommender system enables control of the university preferences depending on a user's selection. The DEA–OPA model can consider the experts' opinions, weights of experts, and quantitative data to calculate the efficiency of and handle efficient alternatives in case of a lack of information and knowledge by considering multiple inputs and outputs [103]. Fuzzy OPA enables the modeling of linguistic variables and preferences to handle imprecise and vague information, allowing decision-makers to express subjective assessments more flexibly and nuancedly. Subjective assessments in the field of fuzzy OPA for graduate admission refer to the process of incorporating the subjective judgments and preferences of decision-makers into the decision-making process [104]. In the context of graduate admission, decision-makers, such as admission committees or evaluators, often rely on their expertise, experience, and subjective assessments when evaluating and selecting candidates. The flexibility accommodates the inherent subjectivity involved in graduate admission

decision-making. In addition, interval OPA extends OPA for considering interval-valued criteria. The internal OPA can be used for uncertain criteria, but ranges can be identified. In the context of graduate admission, subjective assessments using interval OPAs allow decision-makers to express their subjective judgments and preferences when evaluating and selecting candidates. Each method has its own strengths and applicability in different decision-making scenarios, depending on the nature of the problem, available data, and decision-makers preferences supported in [105].

5. Conclusions

5.1. Theoretical Contributions

This study provides a number of theoretical contributions to the success of software architecture design, system development, and the evaluation of the accuracy of recommendation outcomes that influence an individual's decision-making using the AHP and fuzzy AHP approaches to a dynamic multi-criteria recommender system, particularly in graduate admission studies. The study sheds light on the explicit multi-criteria preferences of graduate admission programs chosen by users based on their dynamically explicit needs. The data analysis collected from 80 graduate students revealed the majority of most significant and minority of least significant criteria based on user preferences. The results analysis revealed the diversity of criterion preferences among students and emphasized the absence of a consensus regarding the most important criterion. In addition to evaluating the accuracy performance of the system, the study demonstrated the utility of dynamic multi-criteria AHP and fuzzy AHP methods for explicitly prioritizing multiple criteria in the graduate admission recommender system. In addition, the data structure utilized in this study was created using a bit-representation technique to save storage space, reduce data misuse, prevent data modification, and support encryption and decryption. In this study, the fuzzy AHP technique demonstrated slightly higher practical accuracy than the AHP method. Comparing the two techniques can assist decision-makers and developers in software engineering in selecting the appropriate technique based on the specific application's requirements.

5.2. Practical Implications

This research has implications for designing and implementing graduate admission recommender systems. Universities and institutions can gain insight into the factors influencing students' decision-making by investigating the most intriguing criteria. This information can be utilized to enhance program offerings, enhance academic quality, and optimize tuition fee structures to attract prospective students. In addition, applying dynamic multi-criteria AHP and fuzzy AHP methods enables universities to provide students with individualized recommendations based on their preferences and priorities for admission conditions. The implication of the recommender system is that the use of dynamic multi-criteria and explicit criteria preferences can improve the admission recommendation process' precision and transparency. AHP and fuzzy AHP can be utilized by decision-makers and developers in software engineering to aid with the appropriate technique, depending on the specific application's requirements.

5.3. Limitations and Future Work

Although the differences in system accuracy performance between AHP and fuzzy AHP approaches were relatively small, they may become more pronounced when dealing with larger datasets or more complex multi-criteria models. This study is essential for identifying current research gaps. The research was conducted with a specific sample group from private and public universities in Thailand, which may limit the findings' applicability to other contexts. In addition, the research centered on predefined criteria and the implementation of additional criteria or customization options that could further improve the effectiveness and accuracy of the recommender system. Future research could investigate integrating machine learning and data mining techniques to improve the

recommender system's accuracy and efficacy. Nonetheless, conducting multiple studies and collecting information from a more diverse and extensive sample would provide a deeper understanding of the factors influencing graduate admission decisions.

Author Contributions: Conceptualization, P.N. and M.R.; methodology, W.W. and P.N.; software evaluation and modeling, W.W.; validation, P.N., M.R. and W.W.; formal analysis, P.N. and M.R.; investigation, W.W.; resources, W.W.; data curation, P.N., M.R. and W.W.; writing—original draft preparation, W.W. and M.R.; writing—review and editing, P.N. and M.R.; visualization, P.N., M.R. and W.W.; supervision, P.N. and M.R.; project administration, P.N., M.R. and W.W. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Wood, L.N.; Breyer, Y.A. *Success in Higher Education*; Springer Nature: Singapore, 2017; pp. 1–19. [CrossRef]
2. Feigenbaum, P. Telling students it's O.K. to fail, but showing them, it isn't: Dissonant paradigms of failure in higher education. *Teach. Learn. Inq.* **2021**, *9*, 13–26. [CrossRef]
3. Lahoud, C.; Moussa, S.; Obeid, C.; Khoury, H.E.; Champin, P. A comparative analysis of different recommender systems for university major and career domain guidance. *Educ. Inf. Technol.* **2022**, 1–27. [CrossRef]
4. Cui, L.-Z.; Guo, F.-L.; Liang, Y.-J. Research overview of educational recommender systems. In Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Application Engineering, Hohhot, China, 22–24 October 2018. [CrossRef]
5. Deschênes, M. Recommender systems to support learners' agency in a learning context: A systematic review. *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.* **2020**, *17*, 12–32. [CrossRef]
6. Paul, R.; Varian, H. Recommender systems. *Commun. ACM* **1997**, *40*, 56–58. [CrossRef]
7. Rukhiran, M.; Pukdesree, S.; Netinant, P. Biometric cloud services for web-based examinations: An empirical approach. *Int. J. Inf. Technol. Web Eng.* **2022**, *17*, 1–25. [CrossRef]
8. Rukhiran, M.; Buaroong, S.; Netinant, P. Software development for educational information services using multilayering semantics adaptation. *Int. J. Serv. Sci. Manag. Eng. Technol.* **2022**, *13*, 1–27. [CrossRef]
9. Konstan, J.A.; Riedl, J. Recommender systems: From algorithms to user experience. *User Model User-Adap. Inter.* **2012**, *22*, 101–123. [CrossRef]
10. Monsalve-Pulido, J.; Aguilar, J.; Montoya, E.; Salazar, C. Autonomous recommender system architecture for virtual learning environments. *Appl. Comput. Inform.* **2020**, *17*, 1–11. [CrossRef]
11. Lai, C.; Liu, D.; Liu, M. Recommendations based on personalized tendency for different aspects of influences in social media. *J. Inf. Sci.* **2015**, *41*, 814–829. [CrossRef]
12. Somya, R.; Winarko, E.; Priyanta, S. A hybrid recommender system based on customer behavior and transaction data using generalized sequential pattern algorithm. *Bull. Electr. Eng. Inform.* **2022**, *11*, 3422–3432. [CrossRef]
13. Walek, B.; Fajmon, P. A hybrid recommender system for an online store using a fuzzy expert system. *Expert Syst. Appl.* **2023**, *212*, 118565. [CrossRef]
14. Sharaf, M.; Hemdan, E.E.-D.; El-Sayed, A.; El-Bahnasawy, N.A. A survey on recommendation systems for financial services. *Multimed. Tools Appl.* **2022**, *81*, 16761–16781. [CrossRef]
15. Jayalakshmi, S.; Ganesh, N.; Cep, R.; Murugan, J.S. Movie recommender systems: Concepts, methods, challenges, and future directions. *Sensors* **2022**, *22*, 4904. [CrossRef] [PubMed]
16. Alexander, A.; Gunawan, A.S.; Suhartono, D. Music recommender system based on genre using convolutional recurrent neural networks. *Procedia Comput. Sci.* **2019**, *157*, 99–109. [CrossRef]
17. Oh, J.; Kim, S.; Kim, J.; Yu, H. When to recommend: A new issue on TV show recommendation. *Inf. Sci.* **2014**, *280*, 261–274. [CrossRef]
18. Garipelly, V.; Adusumalli, P.T.; Singh, P. Travel recommendation system using content and collaborative filtering—A hybrid approach. In Proceedings of the 12th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies, Khargpur, India, 6–8 July 2021. [CrossRef]
19. Tran, T.N.; Felfernig, A.; Trattner, C.; Holzinger, A. Recommender systems in the healthcare domain: State-of-the-art and research issues. *J. Intell. Inf. Syst.* **2021**, *57*, 171–201. [CrossRef]
20. Witt, T.; Klumpp, M. Multi-period multi-criteria decision making under uncertainty: A renewable energy transition case from Germany. *Sustainability* **2021**, *13*, 6300. [CrossRef]

21. Akkas, E.; Ayhan, M.B. A comparative analysis for the criteria of higher education selection. *Particip. Educ. Res.* **2018**, *5*, 38–50. [CrossRef]
22. Sun, Z.; Guo, Q.; Yang, J.; Fang, H.; Guo, G.; Zhang, J.; Burke, R. Research commentary on recommendations with side information. A survey and research directions. *Electron. Commer. Res. Appl.* **2019**, *37*, 100879. [CrossRef]
23. Chang, P.C.; Lin, C.H.; Chen, M.H. A hybrid course recommendation system by integrating collaborative filtering and artificial immune systems. *Algorithms* **2016**, *9*, 47. [CrossRef]
24. Zhong, J.; Xie, H. The research trends in recommender systems for e-learning: A systematic review of SSCI journal articles from 2014 to 2018. *Asian Assoc. Open Univ. J.* **2019**, *14*, 12–27. [CrossRef]
25. Schafer, J.B.; Frankowski, D.; Herlocker, J.; Sen, S. Collaborative filtering recommender systems. In *The Adaptive Web*; Brusilovsky, P., Kobsa, A., Nejdl, W., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2007; Volume 4321, pp. 291–324. [CrossRef]
26. Brijendra, S. Analytical hierarchical process (AHP) and fuzzy AHP applications-A review paper. *Int. J. Pharm. Technol.* **2016**, *8*, 4925–4946.
27. Wang, D.; Liang, Y.; Xu, D.; Feng, X.; Guan, R. A content-based recommender system for computer science publications. *Knowl. Based Syst.* **2018**, *157*, 1–9. [CrossRef]
28. Borlea, I.-D.; Precup, R.-E.; Borlea, A.B.; Iercan, D.T. A unified form of fuzzy C-means and K-means algorithms and its partitional implementation. *Knowl. Based Syst.* **2021**, *214*, 106731. [CrossRef]
29. Bhattacharjee, P.; Mitra, P. A survey of density based clustering algorithms. *Front. Comput. Sci.* **2021**, *15*, 151308. [CrossRef]
30. Park, C.S.; Han, I.A. Case-Based reasoning with the feature weights derived by analytic hierarchy process for bankruptcy prediction. *Expert Syst. Appl.* **2002**, *23*, 255–264. [CrossRef]
31. Yumoto, M. Development of product recommendation system with AHP according to alternatives' evaluation with normalization allocation and Hough conversion. *Electron. Commun. Jpn.* **2019**, *102*, 25–41. [CrossRef]
32. Kabir, G.; Hasin, A.A. Comparative analysis of AHP and fuzzy AHP models for multicriteria inventory classification. *Int. J. Fuzzy Syst.* **2011**, *1*, 1–16.
33. Zavadskas, E.K.; Antucheviciene, J.; Chatterjee, P. Multiple-criteria decision-making (MCDM) techniques for business processes information management. *Informatics* **2019**, *10*, 4. [CrossRef]
34. Munier, N.; Hontoria, E. *Uses and Limitations of the AHP Method: A Non-Mathematical and Rational Analysis*; Springer: Cham, Switzerland, 2021; pp. 1–4. [CrossRef]
35. Mahad, N.F.; Yusof, N.; Ismail, N.F. The application of fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) approach to solve multi-criteria decision making (MCDM) problems. *J. Phys. Conf. Ser.* **2019**, *1358*, 012081. [CrossRef]
36. Lin, J.; Pu, H.; Lian, J. Intelligent recommendation system for course selection in smart education. *Procedia Comput. Sci.* **2018**, *129*, 449–453. [CrossRef]
37. Liu, Y.; Eckert, C.M.; Earl, C. A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Syst. Appl.* **2020**, *161*, 113738. [CrossRef]
38. Chen, J.-F.; Hsieh, H.-N.; Do, Q.H. Evaluating teaching performance based on fuzzy AHP and comprehensive evaluation approach. *Appl. Soft Comput.* **2015**, *28*, 100–108. [CrossRef]
39. Tian, G.; Lu, W.; Zhang, X.; Zhan, M.; Dulebenets, M.A.; Aleksandrov, A.; Fathollahi-Fard, A.M.; Ivanov, M. A survey of multi-criteria decision-making techniques for green logistics and low-carbon transportation systems. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2023**, *30*, 57279–57301. [CrossRef] [PubMed]
40. Ishak, A.; Kerja, W. Analysis of fuzzy AHP-TOPSIS methods in multi criteria decision making: Literature review. In Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial and Manufacturing Engineering, Medan, Indonesia, 3–4 September 2020. [CrossRef]
41. Shankar, H.U.; Nanjappa, U.K.; Alsulami, M.D.; Prasannakumara, B.C. A fuzzy AHP-fuzzy TOPSIS urged baseline aid for execution amendment of an online food delivery affability. *Mathematics* **2022**, *10*, 2930. [CrossRef]
42. Salimi, N.; Rezaei, J. Multi-criteria university selection: Formulation and implementation using a Fuzzy AHP. *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* **2015**, *24*, 293–315. [CrossRef]
43. Curtin, D.; Gallagher, P.F.; O'Mahony, D. Explicit criteria as clinical tools to minimize inappropriate medication use and its consequences. *Ther. Adv. Drug. Saf.* **2019**, *10*, 2042098619829431. [CrossRef] [PubMed]
44. Cinelli, M.; Kadziński, M.; Miebs, G.; Gonzalez, M.; Słowiński, R. Recommending multiple criteria decision analysis methods with a new taxonomy-based decision support system. *Eur. J. Oper. Res.* **2022**, *302*, 633–651. [CrossRef]
45. Cinelli, M.; Kadziński, M.; Gonzalez, M.; Słowiński, R. How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. *Omega* **2020**, *96*, 102261. [CrossRef]
46. Esmail, B.A.; Geneletti, D. Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications. *Methods Ecol. Evol.* **2018**, *9*, 42–53. [CrossRef]
47. Al-ghuribi, S.M.; Mohd Noah, S.A. Multi-Criteria review-based recommender system–The state of the art. *IEEE Access* **2019**, *7*, 169446–169468. [CrossRef]
48. Toth, W.; Vacik, H. A comprehensive uncertainty analysis of the analytic hierarchy process methodology applied in the context of environmental decision making. *J. Multi-Criteria Decis. Anal.* **2018**, *25*, 142–161. [CrossRef]
49. Hanine, M.; Boutkhoum, O.; Tikniouine, A.; Agouti, T. Application of an integrated multi-criteria decision making AHP-TOPSIS methodology for ETL software selection. *SpringerPlus* **2016**, *5*, 263. [CrossRef] [PubMed]

50. Iqbal, M.; Ghazanfar, M.A.; Sattar, A.; Maqsood, M.; Khan, S.; Mehmood, I.; Baik, S.W. Kernel context recommender system (KCR): A scalable context-aware recommender system algorithm. *IEEE Access* **2019**, *7*, 24719–24737. [CrossRef]
51. Stofkova, J.; Krejnus, M.; Stofkova, K.R.; Malega, P.; Binasova, V. Use of the analytic hierarchy process and selected methods in the managerial decision-making process in the context of sustainable development. *Sustainability* **2022**, *14*, 11546. [CrossRef]
52. Yaraghi, N.; Tabesh, P.; Guan, P.; Zhuang, J. Comparison of AHP and Monte Carlo AHP under different levels of uncertainty. *IEEE Trans. Eng. Manag.* **2015**, *62*, 122–132. [CrossRef]
53. Pant, S.; Kumar, A.; Ram, M.; Klochkov, Y.; Sharma, H.K. Consistency indices in analytic hierarchy process: A review. *Mathematics* **2022**, *10*, 1206. [CrossRef]
54. Saaty, T.L. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*; RWS Publication: Pittsburgh, PA, USA, 1996.
55. Saaty, T.L. Decision making—The analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *J. Syst. Sci. Syst. Eng.* **2004**, *13*, 1–35. [CrossRef]
56. Peng, G.; Han, L.; Liu, Z.; Guo, Y.; Yan, J.; Jia, X. An application of fuzzy analytic hierarchy process in risk evaluation model. *Front. Psychol.* **2021**, *12*, 715003. [CrossRef]
57. Ahmed, F.; Kilic, K. Fuzzy analytic hierarchical process: A performance analysis of popular algorithms. *Fuzzy. Sets. Syst.* **2019**, *362*, 110–128. [CrossRef]
58. Nasution, S.M.; Husni, E.; Kuspriyanto, K.; Yusuf, R. Personalized route recommendation using F-AHP-Express. *Sustainability* **2022**, *14*, 10831. [CrossRef]
59. Kou, G.; Lin, C.A. Cosine maximization method for the priority vector derivation in AHP. *Eur. J. Oper. Res.* **2014**, *235*, 225–232. [CrossRef]
60. Zadeh, L.A. Fuzzy sets. *Inf. Control* **1965**, *8*, 338–353. [CrossRef]
61. Falk, K. *Practical Recommender Systems*, 1st ed.; Manning: Shelter Island, NY, USA, 2019.
62. Isinkaye, F.O.; Folajimi, Y.O.; Ojokoh, B.A. Recommendation systems: Principles, methods and evaluation. *Egypt. Inform. J.* **2015**, *16*, 261–273. [CrossRef]
63. Hashemian, S.M.; Behzadian, M.; Samizadeh, R.; Ignatius, J. A fuzzy hybrid group decision support system approach for the supplier evaluation process. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2014**, *73*, 1105–1117. [CrossRef]
64. Yayla, A.Y.; Oztekin, A.; Gumus, A.T.; Gunasekaran, A. A hybrid data analytic methodology for 3PL transportation provider evaluation using fuzzy multi-criteria decision making. *Int. J. Prod. Res.* **2015**, *53*, 6097–6113. [CrossRef]
65. Canan, A.; Ahmet, B.; Tekin, T.G. Sustainability analysis of different hydrogen production options using hesitant fuzzy AHP. *Int. J. Hydrogen Energy* **2018**, *43*, 18059–18076. [CrossRef]
66. Bao, J.; Zheng, Y.; Wilkie, D.; Mokbel, M. Recommendations in location-based social networks: A survey. *GeoInformatica* **2015**, *19*, 525–565. [CrossRef]
67. Yang, L.; Zhang, Z.; Cai, X.; Guo, L. Citation recommendation as edge prediction in heterogeneous bibliographic network: A network representation approach. *IEEE Access* **2019**, *7*, 23232–23239. [CrossRef]
68. Dahdouh, K.; Dakkak, A.; Oughdir, L.; Ibriz, A. Large-scale e-learning recommender system based on Spark and Hadoop. *J. Big Data* **2019**, *6*, 2. [CrossRef]
69. Chen, W.; Niu, Z.; Zhao, X.; Li, Y. A hybrid recommendation algorithm adapted in e-learning environments. *World Wide Web* **2014**, *17*, 271–284. [CrossRef]
70. Wan, S.; Niu, Z. A Hybrid e-learning recommendation approach based on learners' influence propagation. *IEEE Trans. Knowl. Data. Eng.* **2020**, *32*, 827–840. [CrossRef]
71. Camacho, L.A.; Alves-Souza, S.N. Social network data to alleviate cold-start in recommender system: A systematic review. *Inf. Process Manag.* **2018**, *54*, 529–544. [CrossRef]
72. Anggrawan, A.; Satria, C.; Putra, L.G. Scholarship recipients recommendation system using AHP and Moora methods. *Int. J. Intell. Eng. Syst.* **2022**, *15*, 260–275. [CrossRef]
73. Dewi, R.; Verina, W.; Tanjung, D.H.; Rahayu, S.L. Application of AHP method based on competence for determining the best graduate students. In Proceedings of the 6th International Conference on Cyber and IT Service Management, Parapat Nort Sumatera, Indonesia, 7–9 August 2018. [CrossRef]
74. Ramadhan, D.; Marlinda, L. Decision support system for selecting study programs using the AHP method. *Sinkron* **2022**, *7*, 2547–2555. [CrossRef]
75. Hasan, M.; Ahmed, S.; Abdullah, D.M.; Rahman, M.S. Graduate school recommender system: Assisting admission seekers to apply for graduate studies in appropriate graduate schools. In Proceedings of the 5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision, Dhaka, Bangladesh, 13–14 May 2016. [CrossRef]
76. Yumaryadi, Y.; Firdaus, D.; Priambodo, B.; Putra, Z.P. Determining the best graduation using fuzzy AHP. In Proceedings of the 2nd International Conference on Broadband Communications, Wireless Sensors and Powering, Yogyakarta, Indonesia, 28–30 September 2020. [CrossRef]
77. Alghamdi, S.; Alzhrani, N.; Algethami, H. Fuzzy-based recommendation system for university major selection. In Proceedings of the 11th International Joint Conference on Computational Intelligence, Setubal, Portugal, 17–19 September 2019. [CrossRef]
78. Urdaneta-Ponte, M.; Mendez-Zorrilla, A.; Oleagordia-Ruiz, I. Recommendation systems for education: Systematic review. *Electronics* **2021**, *10*, 1611. [CrossRef]

79. Elahi, M.; Starke, A.; Ioini, N.E.; Lambrix, A.A.; Trattner, C. Developing and evaluating a university recommender system. *Front. Artif. Intell.* **2021**, *4*, 212. [CrossRef]
80. Quacquarelli Symonds. Welcome to the International Student Survey. Available online: https://www.internationalstudentsurvey.com/ (accessed on 17 February 2022).
81. Echchabi, A.; Hajri, S. Factors influencing students' selection of universities: The case of Oman. *J. Educ. Res. Eval.* **2018**, *2*, 83–88. [CrossRef]
82. Nagoya, R.; Bernarto, I.; Antonio, F. Factors affecting university selection during pandemic: A study on Indonesian high school students. In Proceedings of the International Conference on Global Innovation and Trends in Economics and Business, Lampung, Indonesia, 7 October 2021.
83. Islam, A.; Shoron, N.H. Factors influencing students' decision making in selecting university in Bangladesh. *Adv. J. Soc. Sci.* **2020**, *6*, 17–25. [CrossRef]
84. Do, T.D.; Le, L.C. Factors affecting high school students' decision on choosing university: Case study of Ho Chi Minh City. *J. Entrep. Educ.* **2020**, *23*, 3.
85. Moovoravit, P.; Dowpiset, K. Factors affecting the choice of university in Thailand among Thai International high school student's grade 11 and grade 12 in the central Bangkok area. *Int. J. Bus. Econ. Res.* **2017**, *3*, 1–21.
86. Cho, Y.Z. A Study on the Factors Influencing Myanmar Students' Choice of University Courses. Master's Thesis, Siam University, Bangkok, Thailand, 17 December 2018.
87. Toh-adam, T.; Dasri, P.; O'Sullivan, D.P.; Tenghirun, P. Factors influencing generation Z in choosing an international university in Bangkok. *UMT Poly J.* **2021**, *18*, 553–571.
88. Golightly, L.; Chang, V.; Xu, Q.A.; Gao, X.; Liu, B. Adoption of cloud computing as innovation in the organization. *Int. J. Eng. Bus.* **2022**, *14*, 18479790221093992. [CrossRef]
89. Chomngern, T.; Netinant, P. A mobile software model for web-based learning using information flow diagram (IFD). In Proceedings of the 2017 International Conference on Information Technology, Singapore, 27–29 December 2017. [CrossRef]
90. Rukhiran, M.; Netinant, P. Mobile Application development of hydroponic smart farm using information flow diagram. In Proceedings of the 5th International Conference on Information Technology, Chonburi, Thailand, 21–22 October 2020. [CrossRef]
91. Rukhiran, M.; Netinant, P. IoT architecture based on information flow diagram for vermiculture smart farming kit. *TEM J.* **2020**, *9*, 1330–1337. [CrossRef]
92. Rukhiran, M.; Chomngern, T.; Netinant, P. Insights from a dataset on behavioral intentions in learning information flow diagram capability for software design. *Data Brief* **2023**, *49*, 109307. [CrossRef]
93. Powers, D.M. Evaluation: From precision, recall and F-Factor to ROC, Informedness, markedness & correlation. *J. Mach. Learn. Technol.* **2011**, *2*, 37–63.
94. Wu, D.; Zhang, G.; Lu, J. A fuzzy preference tree-based recommender system for personalized business-to-business e-services. *IEEE Trans. Fuzzy Syst.* **2015**, *23*, 27–43. [CrossRef]
95. Rostami, M.; Oussalah, M.; Farrhi, V. A Novel time-aware food recommender-system based on deep learning and graph clustering. *IEEE Access* **2022**, *10*, 52508–52524. [CrossRef]
96. Netinant, P.; Elrad, T.; Fayad, M.E. A layered approach to building open aspect-oriented systems. *Commun. ACM* **2001**, *40*, 83–85. [CrossRef]
97. Rukhiran, M.; Netinant, P. A practical model from multidimensional layering: Personal finance information framework using mobile software interface operations. *Int. J. Inf. Commun. Technol.* **2020**, *19*, 321–349. [CrossRef]
98. Elmasri, R.; Navathe, S.B. *Fundamentals of Database Systems*, 7th ed.; Pearson Publishing: London, UK, 2016.
99. Győrödi, C.A.; Dumşe-Burescu, D.V.; Zmaranda, D.R.; Győrödi, R.S.; Gabor, G.A.; Pecherle, G.D. Performance analysis of NoSQL and relational databases with CouchDB and MySQL for application's data storage. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 8524. [CrossRef]
100. Ataei, Y.; Mahmoudi, A.; Feylizadeh, M.R. Ordinal priority approach (OPA) in multiple attribute decision-making. *Appl. Soft Comput.* **2020**, *86*, 105893. [CrossRef]
101. Wang, C.; Nguyen, T.T.; Dang, T.; Nguyen, N. A hybrid OPA and fuzzy MARCOS methodology for sustainable supplier selection with technology 4.0 evaluation. *Processes* **2022**, *10*, 2351. [CrossRef]
102. Mahmoudi, A.; Addasi, M.; Deng, X. A novel project portfolio selection framework towards organizational resilience: Robust ordinal priority approach. *Expert Syst. Appl.* **2022**, *18*, 116067. [CrossRef] [PubMed]
103. Mahmoudi, A.; Addasi, M.; Deng, X. Evaluating the performance of the suppliers using hybrid DEA-OPA model: A sustainable development perspective. *Group Decis. Negot.* **2022**, *21*, 335–362. [CrossRef]
104. Mahmoudi, A.; Javed, S.A.; Mardani, A. Gresilient supplier selection through fuzzy ordinal priority approach: Decision-making in post-COVID era. *Oper. Manag. Res.* **2022**, *15*, 208–232. [CrossRef]
105. Abdelli, A.; Mokdad, L.; Hammal, Y. Dealing with value constraints in decision making using MCDM methods. *J. Comput. Sci.* **2020**, *44*, 101154. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	วรรณวิภา วงศ์วิไลสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	3 กันยายน 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดปราจีนบุรี ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยศรีปทุม ปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ, 2541 มหาวิทยาลัยศรีปทุม ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, 2548
ที่อยู่ปัจจุบัน	119/27 ม. 7 ต.สวนพริกไทย อ.เมืองปทุมธานี จ.ปทุมธานี
สถานที่ทำงาน	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ตำแหน่งปัจจุบัน	รองคณบดีฝ่ายบริหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยรังสิต Rangsit University