

JOURNAL OF SCIENCE TECHNOLOGY

Southeast Bangkok University

Vol.6 No.1

(January-June 2026)





สารบัญ

กองบรรณาธิการ (Editorial team)

บรรณาธิการแถลง (Editor note)

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewers)

บทความวิจัย

แนวทางการออกแบบกราฟิก เพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ กรณีศึกษาเพจปักปันโปร e264909

GRAPHIC DESIGN APPROACHES FOR PROMOTIONAL CONTENT ON SOCIAL MEDIA

A CASE STUDY OF THE PUNPRO FACEBOOK PAGE

ลลิตากร ชนะนิมิตร, กฤษฎา ทวีศักดิ์ศรี

การพัฒนาโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยเสี่ยงเชิงพฤติกรรม ในการขนส่งวัตถุอันตราย e264706

โดยใช้ข้อมูลจากระบบ ADAS และ DMS

DEVELOPMENT OF A CAUSAL RELATIONSHIP MODEL OF BEHAVIORAL RISK FACTORS IN DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION
USING ADAS AND DMS DATA

ณัฐวุฒิ พุ่มพฤกษ์, มณิสรา บารมีชัย

อิทธิพลของการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการแอปพลิเคชันออนไลน์ ทางกายภาพ: e264717

บทบาทการส่งผ่านของการยอมรับเทคโนโลยี และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม

THE INFLUENCE OF PERCEIVED PLATFORM QUALITY ON THE DECISION TO ADOPT ONLINE MEDICAL APPLICATION SERVICES:
THE MEDIATING ROLES OF TECHNOLOGY ACCEPTANCE AND PLATFORM TRUST WITHIN
THE STIMULUS-ORGANISM-RESPONSE FRAMEWORK

ชนะภพ อื้อเทียน, ณัฏธรงค์ จตุรัส, ณัฏฐ์ จตุรัส, วสันต์ กันอ้า

THE EFFECTS OF CYBERSECURITY AWARENESS, ATTITUDE, AND BEHAVIOR ON INFORMATION PROTECTION e264744

EFFECTIVENESS AMONG SECONDARY VOCATIONAL SCHOOL STUDENTS IN CHINA58-67

Zhen Weng, Songpon Nakharacruangsak

CYBERSECURITY AWARENESS AMONG PRIMARY AND SECONDARY SCHOOL TEACHERS IN FUJIAN PROVINCE, e264907

CHINA: PREDICTORS AND ENHANCEMENT RECOMMENDATIONS

Huang Zhan, Songpon Nakharacruangsak



สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย

- ESSENTIAL NETWORK TECHNOLOGY COMPETENCIES OF VOCATIONAL STUDENTS IN PUTIAN, CHINA UNDER THE SMART INDUSTRY CONTEXT: A COMPETENCY GAP ANALYSIS e264738
Chaoye Weng; Sudasawan Ngammongkolwong

- EFFICACY ASSESSMENT OF A RAG-BASED CHATBOT FOR EDUCATIONAL COMPUTER PROGRAMMING e265155
Waris Rattananimit, Jatuporn Sakchaikul

บทความวิชาการ

- บทบาทของเทคนิคการจัดกลุ่ม และสถาปัตยกรรม MIXTURE OF EXPERTS เบื้องหลังความสำเร็จของ DEEPSEEK e263912
THE ROLE OF CLUSTERING TECHNIQUES AND MIXTURE OF EXPERTS ARCHITECTURE BEHIND THE SUCCESS OF DEEPSEEK
สุริยะ พุ่มเฉลิม, นพคุณ นันทเสนีย์ , อุษณีย์ ยี่สุนแก้ว



ที่ปรึกษา

ดร.สมศักดิ์ รุ่งเรือง

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาสวรรค์ งามมงคลวงศ์

คณบดีคณะเทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรม

กองบรรณาธิการ

1. ศาสตราจารย์ ดร.ปรัชญนันท์ นิลสุข
2. รองศาสตราจารย์ ดร.ณมน จีรังสุวรรณ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมาวุฒม์
4. รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ชัย ทิพย์จักรพันธุ์
5. รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ
6. รองศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ สวัสดิ์นะที
7. รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐรงค์ จตุรัส
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งทิวา เสาร์สิงห์
9. รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย รังสินันท์
10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาสนา สังข์พุ่ม
11. ศาสตราจารย์ พล.ร.ต.หญิง ยุวดี เปรมวิชัย
12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลยา ชูประดิษฐ์
13. รองศาสตราจารย์ ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช
14. รองศาสตราจารย์ พรศักดิ์ อรรถวานิช
15. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุโกศล วโนทยาพิทักษ์
16. รองศาสตราจารย์. ผ่องพรรณ รัตนธนาวันต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา
มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

ฝ่ายจัดการวารสารและพิสูจน์อักษร

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาณวัฒน์ พลอยเทศ
2. อาจารย์เยาวภาณี รอดเพชร
3. อาจารย์นฤทธิตา สกฤติจันสาร
4. อาจารย์วัชรินทร์ จิตกุล



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2568) ฉบับนี้เป็นฉบับที่ 13 ประกอบด้วยบทความวิจัย 7 เรื่อง บทความวิชาการ 1 เรื่อง ซึ่งมีเนื้อหาสาระที่ครอบคลุมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สาขาเทคโนโลยีมัลติมีเดียและแอนิเมชัน สาขานวัตกรรมการศึกษาและเทคโนโลยีทางการศึกษา สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ/เทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขานวัตกรรมทางธุรกิจ และสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงสาขาต่างๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ในยุคที่เทคโนโลยีดิจิทัลและปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) กำลังเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำเนินชีวิต การศึกษา ภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว การสร้างองค์ความรู้และนวัตกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงจึงมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศและการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับสากล

วารสารฉบับนี้รวบรวมบทความวิจัยและบทความวิชาการที่สะท้อนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในหลากหลายมิติ ครอบคลุมประเด็นด้าน Generative AI, Retrieval-Augmented Generation (RAG), Cybersecurity, Data Analytics, Smart Industry, Digital Business และ Educational Technology ซึ่งล้วนเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจจากทั้งแวดวงวิชาการและภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในฉบับนี้สะท้อนแนวโน้มของการนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพขององค์กร ยกกระตือรือร้นการจัดการศึกษา เสริมสร้างความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ และสนับสนุนการตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูล อันจะนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมที่ตอบสนองต่อความต้องการของสังคมและอุตสาหกรรมในอนาคต

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้ที่เผยแพร่ในวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคณาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนเป็นแรงผลักดันให้เกิดการพัฒนางานวิจัยและนวัตกรรมที่มีคุณค่าและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเป็นรูปธรรม

สุดท้ายนี้ขอเชิญชวนคณาจารย์ นักวิชาการ และนิสิต นักศึกษา รวมถึงผู้สนใจทั่วไปส่งบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิชาการ บทความวิชาการ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในฉบับต่อ ๆ ไปของเรา โดยท่านสามารถส่งผลงานได้ผ่านทางช่องทางออนไลน์ของวารสาร Link: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSCI>

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาสวรรค์ งามมงคลวงศ์

บรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก [JSCI-SBU]



รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Reviewers)

ประจำวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอกปีที่ 6 ฉบับที่ 1

1	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตันตวัณศ์วานิช	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2	รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา ปาปัดถา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
4	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งทิพา เสาร์สิงห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
5	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาสนา สังข์พุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
6	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล จุงจิตร	มหาวิทยาลัยทักษิณ
7	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชาติ บัวชุม	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
8	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
9	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิวลัย จินเจือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
10	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมาวุฒม์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
11	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรวิรรณ จิตต์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
12	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เรวดี ศักดิ์ตุลยธรรม	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์
13	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ สุวรรณราช	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
14	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร อูยานิชย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
15	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลิต กังวาราวุฒิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
16	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มยุร ไบบัวเทศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
17	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลิดา ชาญวิจิตร	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
18	ดร.นาวัน คงรักษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง
19	ดร.เมฆินทร์ วรรณศาสตร์	สมาคมเพื่อการแลกเปลี่ยนความรู้สหวิทยาการ
20	ดร.สันติ โสภาประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

JSCI-SBU

บทความวิจัยที่นำมาตีพิมพ์ในแต่ละฉบับ กองบรรณาธิการจะตรวจสอบเป็นขั้นตอนแรก และจัดให้มีการกรรมการภายนอกตรวจสอบประเมินคุณภาพบทความตามเกณฑ์ และรูปแบบที่กำหนดในลักษณะวารสารแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่านที่เป็นผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้องกับบทความ เพื่อประเมินบทความ โดยวารสารจะรักษาความลับทั้งด้านผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เขียนบทความ (Double Blind) คือ ปกปิดรายชื่อผู้เขียนบทความและผู้เกี่ยวข้อง ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย บรรณาธิการ (Editor) ผู้เขียนบทความ (Authors) และผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ (Reviewer) รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่ายจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ

แนวทางการออกแบบกราฟิก
เพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ กรณีศึกษาเฟสบุ๊กเพจปันโปร
GRAPHIC DESIGN APPROACHES FOR PROMOTIONAL CONTENT ON SOCIAL MEDIA
A CASE STUDY OF THE PUNPRO FACEBOOK PAGE

ลลิตากร ธนะนิมิตร^{1*} และ กฤษฏา ทวีศักดิ์ศรี²
Lalidakorn Thananimit¹ and Kritsada Thaweesaksri²

ภาควิชานิเทศศาสตร์และสารสนเทศศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์^{1, 2}
Department of Communication Arts and Information Science, Faculty of Humanities, Kasetsart University^{1, 2}

Author: email: lalidagron.t@ku.th^{1*}, kritsada.t@ku.th²

Received: April 9, 2026
Revised: May 27, 2026
Accepted: June 8, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษารูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด 2) ศึกษาแนวทางการออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ 3) ประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative) ด้วยการฝังตัวเพื่อเก็บข้อมูลวิจัย (Participant Observation) ภายในบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด โดยมีประชากรในการวิจัย คือ กลุ่มงานออกแบบกราฟิกและดิจิทัลคอนเทนต์ จำนวน 15 คน เป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) รวบรวมข้อมูลด้านการออกแบบสื่อกราฟิกสำหรับการนำเสนอโปรโมชั่น รวมทั้งทักษะการใช้โปรแกรม Adobe Photoshop, Adobe Illustrator ขั้นสูง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแนวคำถามสำหรับใช้ในการสนทนากลุ่ม ผลการวิจัยนำเสนอตามลำดับวัตถุประสงค์ แนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ กรณีศึกษาเฟสบุ๊กเพจปันโปร มีแนวทางสำคัญ 3 ประการที่ทำให้เพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์มีความสมบูรณ์ คือ 1) รูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด ประกอบด้วยงานออกแบบเพื่องาน Affiliate Marketing งานออกแบบกราฟิกเพื่อสนับสนุน SEO /Website 2) แนวทางการออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ ประกอบด้วยการจัดวางภาพสำหรับสื่อแสดงผล การปรับแต่งภาพและการตัดแยกภาพ 3) ผลการประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ผลการประเมินรับรองโดยสรุปผลเฉลี่ยรวมทุกองค์ประกอบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.55$, S.D. = 0.04)

คำสำคัญ: การออกแบบกราฟิก, การนำเสนอโปรโมชั่น, สื่อสังคมออนไลน์

Abstract

This research aimed to: 1) examine the digital content presentation formats employed by Punpromotion Co., Ltd.; 2) investigate graphic design approaches for presenting promotional content on social media platforms; and 3) evaluate and validate the proposed graphic design guidelines for promotional content presentation on social media. A qualitative research methodology was employed, utilizing participant observation within Punpromotion Co., Ltd. The study population consisted of 15 staff members from the Graphic Design and Digital Content Department, who served as key informants. Data were collected regarding graphic design practices for promotional content presentation, as well as advanced applications of Adobe Photoshop and Adobe Illustrator. The primary research instrument was a set of semi-structured questions used in focus group discussions. The findings are presented according to the research objectives. The study identified three key components that contribute to the effectiveness of graphic design for promotional content presentation on social media, based on a case study of the Punpro Facebook Page. First, the digital content presentation formats of Punpromotion Co., Ltd. comprise graphic design for affiliate marketing and graphic design supporting SEO and website content. Second, the graphic design approaches for promotional content presentation on social media include visual layout design for display media, image enhancement, and image extraction techniques. Third, the evaluation and validation of the proposed graphic design guidelines, as assessed by experts, indicated that the overall mean score across all components was at a high level (4.55, S.D. = 0.04).

Keywords: Graphic design, Promotional presentation, Social media

บทนำ

ประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลอย่างเต็มรูปแบบ จนได้รับการขนานนามว่า “ดิจิทัลไทยแลนด์” (Digital Thailand) ส่งผลให้อินเทอร์เน็ตจึงกลายเป็นส่วนหนึ่งในการใช้ชีวิตประจำวันของคนไทย [1] จากผลสำรวจ Thailand Digital Outlook ประจำปี 2567 พบว่า การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตของครัวเรือนไทยจะอยู่ที่ร้อยละ 90.3 หรือประมาณ 21.7 ล้านครัวเรือน โดยคนไทยใช้อินเทอร์เน็ตเฉลี่ยวันละ 9 ชั่วโมง 20 นาที และมีพฤติกรรมซื้อสินค้าออนไลน์สัปดาห์ละครั้ง สินค้าที่เป็นที่นิยมสูงสุด 3 อันดับแรกได้แก่ เสื้อผ้า สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ และ หนังสือ ตามลำดับ ส่วนช่องทางการซื้อสินค้าออนไลน์ที่ได้รับความนิยมสูงสุดได้แก่ e - Marketplace เช่น Shopee Lazada รองลงมาคือ Social Commerce ได้แก่ Facebook, Tiktok และ Instagram [2]

การออกแบบกราฟิกเป็นศิลปะในการสร้างเนื้อหาภาพเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อความ ใช้ตัวอักษร ภาพ สี และการจัดวางองค์ประกอบ (Layout) เพื่อถ่ายทอดเรื่องราวหรือแนวคิดที่ต้องการสื่อสาร ดังนั้น การพัฒนารูปภาพสำหรับสื่อสังคมออนไลน์จึงต้องให้ความสำคัญกับรายละเอียดต่าง ๆ รวมถึงความใส่ใจอย่างระมัดระวังในการเลือกใช้ตัวอักษร ทรูทิวส์ และการจัดวางองค์ประกอบเพื่อให้สื่อมีความสวยงามและสามารถดึงดูดความสนใจของผู้ชมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] นอกจากการออกแบบกราฟิกแล้ว อีกหนึ่งปัจจัยที่สามารถกระตุ้นความสนใจให้กับผู้บริโภคในการทำตลาดออนไลน์ได้นั้นคือ การจัดทำโปรโมชั่น ซึ่งถือเป็นเทคนิคทางการตลาดที่สำคัญในการส่งเสริมการขาย โดยช่วยกระตุ้นความต้องการของผู้บริโภค เพิ่มยอดขาย และส่งผลให้ธุรกิจสามารถเติบโตและประสบความสำเร็จได้ ในประเทศไทย เมื่อกล่าวถึงคำว่า “โปรโมชั่น

(Promotion)” ก็ผู้บริโภคมักนึกถึงการลดราคาสินค้า หรือการจัดรายการพิเศษที่ทำให้สามารถซื้อสินค้าได้ในราคาที่ถูกลง อย่างไรก็ตาม คำว่า โปรโมชัน มีรากศัพท์มาจากคำกริยา โปรโมท (Promote) ที่มีความหมายว่าการส่งเสริม สนับสนุน หรือ ให้สิ่งใดสิ่งหนึ่งเป็นที่รู้จักในทางที่ดีมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับบริบทการแข่งขันของตลาดออนไลน์ในปัจจุบัน ถือเป็นเรื่องยากที่แบรนด์สินค้าจะยืนหยัดได้หากไม่มีความโดดเด่นเมื่อต้องเทียบกับคู่แข่ง ไม่ว่าจะเป็นทางความคิด ราคา คุณภาพ หรือความสะดวกในการเข้าถึงสินค้าและบริการ ดังนั้น การออกแบบโปรโมชันในปัจจุบันมักนำเสนอในรูปแบบของโฆษณาผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เช่น Facebook, TikTok และ Instagram ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ได้รับความนิยมสูงในการสื่อสารข้อมูลสินค้าและบริการของธุรกิจ เพื่อสร้างการรับรู้เกี่ยวกับแบรนด์รวมทั้งกระตุ้นความสนใจและการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค [4] การออกแบบกราฟิกมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการสื่อสารการตลาดบนสื่อสังคมออนไลน์ โดยเฉพาะในด้านการสร้างการรับรู้แบรนด์และการมีส่วนร่วมของผู้บริโภค งานวิจัยพบว่าเนื้อหาที่ได้รับการออกแบบเชิงภาพอย่างเหมาะสมสามารถเพิ่มอัตราการมีส่วนร่วม (engagement) และการจดจำแบรนด์ได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อหาที่ไม่ได้ผ่านการออกแบบอย่างเป็นระบบ [5] การออกแบบกราฟิกยังถือเป็นองค์ประกอบหลักของกลยุทธ์คอนเทนต์ดิจิทัล โดยช่วยเพิ่มความน่าสนใจของข้อมูล ทำให้ผู้รับสารเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น และส่งผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคของผู้ใช้งานบนแพลตฟอร์มออนไลน์ ความสม่ำเสมอของอัตลักษณ์ทางภาพ (visual identity) และการใช้รูปแบบกราฟิกที่เหมาะสมสามารถเสริมสร้างภาพลักษณ์ของแบรนด์และเพิ่มการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ชมได้ [6] ในบริบทของสื่อสังคมออนไลน์ การใช้ภาพและองค์ประกอบทางกราฟิกยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยดึงดูดความสนใจของผู้ใช้งาน เนื่องจากผู้บริโภคมีแนวโน้มตอบสนองต่อเนื้อหาที่เป็นภาพมากกว่าข้อความ งานศึกษาพบว่าเนื้อหาที่มีการออกแบบภาพอย่างมีคุณภาพจะช่วยเพิ่มการรับรู้และความสัมพันธ์ระหว่างผู้บริโภคกับแบรนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7]

บริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด หรือที่รู้จักกันในชื่อ ปันโปร เป็นธุรกิจที่เติบโตจากความชอบที่จะแชร์โปรโมชันให้กับกลุ่มเพื่อน ต่อยอดสู่การทำเพจบนสื่อสังคมออนไลน์เพื่อแบ่งปันโปรโมชันและเทรนด์ต่าง ๆ ในวงกว้าง โดยก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2558 และปัจจุบันเติบโตเป็นแพลตฟอร์มออนไลน์ที่มีผู้ติดตามมากกว่า 13 ล้านคนในทุกแพลตฟอร์ม นอกจากการนำเสนอโปรโมชันแล้ว บริษัทยังนำเสนอเนื้อหาที่หลากหลาย เช่น เรื่องราวที่มองว่าน่าสนใจหรือเรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค โดยเนื้อหาที่น่าสนใจจะต้องแตกต่างทั้งในด้านข้อความ ภาพ และวิดีโอ เพื่อให้สามารถดึงดูดความสนใจของผู้ติดตามบนสื่อสังคมออนไลน์ได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยลักษณะสำคัญของการผลิตคอนเทนต์ของบริษัทคือ การนำเสนอข้อมูลและข่าวสารในลักษณะเรียลไทม์ (Real-time Content) ซึ่งต้องอาศัยความรวดเร็วในการผลิตและเผยแพร่สื่อ เมื่อได้รับข้อมูลหรือประเด็นที่กำลังเป็นกระแส ทีมงานจะต้องออกแบบและจัดทำสื่อกราฟิกภายในระยะเวลาอันสั้นเพื่อเผยแพร่บนสื่อสังคมออนไลน์ในวันเดียวกัน เพื่อให้เนื้อหามีความทันต่อสถานการณ์และสามารถเข้าถึงความสนใจของผู้บริโภคได้อย่างทันท่วงที เพราะการสร้างคอนเทนต์แบบเรียลไทม์ (Real-Time Content) เป็นกลยุทธ์การสื่อสารที่มุ่งนำเสนอเนื้อหาให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน เหตุการณ์สำคัญ แนวโน้ม หรือกระแสที่กำลังได้รับความนิยมบนสื่อสังคมออนไลน์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้บริโภค (Engagement) การเข้าถึงเนื้อหา (Reach) และการสร้างการรับรู้แบรนด์ (Brand Awareness) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังช่วยเสริมภาพลักษณ์ของแบรนด์ให้มีความทันสมัย รวดเร็ว และสามารถปรับตัวได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคมดิจิทัล [8] ปัจจุบันบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด ได้ขยายธุรกิจจากการนำเสนอโปรโมชันไปสู่การผลิตคอนเทนต์ในรูปแบบที่หลากหลาย และพัฒนาเป็นแบรนด์ต่าง ๆ ภายใต้เครือปันโปรโมชัน มากมาย ได้แก่ ตัวแม่ ปันดวง EV Girls เชื้อหนูสิ GoGreenGirls ตัวตึง ลูกคุณหนู แก้วบ้าน และ NghienThai [9]

จากข้อมูลที่ผ่านมาข้างต้น ผู้ศึกษาจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของแนวทางออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ ด้วยความสนใจในแนวทางออกแบบสื่อกราฟิก ผู้ศึกษาจึงตัดสินใจแสวงหาความรู้ด้วยการฝังตัวเพื่อเก็บข้อมูล (Participant Observation) ภายในบริษัท ปันโปรโมชั่น จำกัด เพื่อพัฒนาทักษะด้านการออกแบบสื่อกราฟิกสำหรับการนำเสนอโปรโมชั่น รวมทั้งฝึกฝนทักษะการใช้โปรแกรม Adobe Photoshop, Adobe Illustrator ขั้นสูง

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชั่น จำกัด
2. เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์
3. เพื่อประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้การวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods Research) โดยมีเครื่องมือการวิจัยดังนี้

- 1.1 แนวคำถามที่ใช้ในการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) กับกลุ่มงานออกแบบกราฟิกและดิจิทัลคอนเทนต์ เพื่อนำผลที่ได้จากการสนทนากลุ่มนำไปสังเคราะห์
- 1.2 การสังเกตแบบมีส่วนร่วม (Participant Observation) ผู้วิจัยเข้าไปร่วมปฏิบัติงานกับกลุ่มนักพัฒนาดิจิทัลคอนเทนต์ มีกิจกรรมการทำงานร่วมกัน
- 1.3 แบบสอบถามเพื่อประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (Key Informants) คือ กลุ่มงานออกแบบกราฟิกและดิจิทัลคอนเทนต์ จำนวน 15 คน โดยแบ่งเป็นนักออกแบบกราฟิก (Graphic Designer) จำนวน 13 คน และนักพัฒนาดิจิทัลคอนเทนต์ (Content Creator) จำนวน 2 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเป็นผู้ทำงานด้านการออกแบบกราฟิกและดิจิทัลคอนเทนต์ ที่มีประสบการณ์ทำงาน อย่างน้อย 5-10 ปี และนำผลการวิจัยมาวิเคราะห์และอภิปรายข้อมูล ตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนอย่างเป็นระบบ โดยสามารถสรุปเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

3.1 การศึกษาทบทวนเอกสารและพัฒนาเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยศึกษาทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative) ด้วยการฝังตัวเพื่อเก็บข้อมูลวิจัย (Participant Observation) และพัฒนาเครื่องมือ ได้แก่ แนวคำถามการสนทนากลุ่ม แบบสังเกตแบบมีส่วนร่วม และแบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ ดำเนินการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) และการสังเกตแบบมีส่วนร่วม (Participant Observation) โดยผู้วิจัยเข้าร่วมปฏิบัติงานกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อทำความเข้าใจบริบทและแนวทางการทำงานด้านการออกแบบกราฟิกและดิจิทัลคอนเทนต์

3.3 การวิเคราะห์ สังเคราะห์ และประเมินผลแนวทาง นำข้อมูลเชิงคุณภาพมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบกราฟิก จากนั้นนำแนวทางที่ได้ไปประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญผ่านแบบสอบถามเชิงปริมาณ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้

3.4 การบูรณาการข้อมูลและสรุปผลการวิจัย ดำเนินการวิเคราะห์และบูรณาการข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เพื่อสรุปผล อภิปรายผล และนำเสนอข้อค้นพบ พร้อมข้อเสนอแนะเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติสำหรับการประยุกต์ใช้ต่อไป

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามแบบการเทียบเคียงรูปแบบ (Pattern Matching) โดยการสร้างข้อสรุปจากข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลทฤษฎีเพื่อให้เกิดความเข้าใจทางปรากฏการณ์ทางความคิดดังกล่าว โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลตามแนวทางของไมล์และสโเบอร์แมน [10] ที่ได้เสนอขั้นตอนการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 การลดทอนข้อมูล (Data Reduction) หมายถึง วิธีคัดเลือก การย่อความที่ทำให้เข้าใจง่าย การแปลงข้อมูลให้พร้อมนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป สิ่งที่ผู้วิจัยทำในการลดทอนข้อมูล คือการเขียนสรุปการร่างหัวข้อเรื่องย่อยที่เกี่ยวข้อง สร้างหลักการในการจำแนกกลุ่มข้อมูล จัดบันทึกตั้งแต่การเก็บข้อมูลครั้งแรกไปจนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

4.2 การจัดรูปแบบข้อมูล (Data Display) หมายถึง การสร้างรูปแบบข้อมูลที่สามารถสื่อสารกับผู้อ่านให้เข้าใจโดยง่าย เช่น การแสดงข้อมูลด้วยตาราง แผนภาพ แนวทางการจัดรูปแบบข้อมูลที่เกิดขึ้น นับตั้งแต่ผู้วิจัยเริ่มวางแผนการนำเสนอข้อมูลด้วยการจัดรูปแบบให้เหมาะสมกับผู้อ่าน เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่าย

4.3 การร่างข้อสรุปและการยืนยัน (Conclusion Drawing and Verification) หมายถึง การตีความหมาย การทำความเข้าใจถึงรูปแบบความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงของข้อมูลที่ได้รับรวบรวมมาเพื่อนำไปสรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาเรื่อง แนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ กรณีศึกษาเฟซบุ๊กเพจปันโปร ประกอบด้วย การศึกษารูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด ศึกษาแนวทางการออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ และการประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. รูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด

บริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด หรือที่รู้จักกันในชื่อ “ปันโปร” เป็นธุรกิจที่เติบโตจากความชอบที่จะแชร์โปรโมชันให้กับกลุ่มเพื่อน ต่อยอดสู่การทำเพจบนสื่อสังคมออนไลน์เพื่อแบ่งปันโปรโมชันและเทรนด์ต่าง ๆ ในวงกว้าง โดยก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ. 2558 และเติบโตเป็นแพลตฟอร์มออนไลน์ที่มีผู้ติดตามมากกว่า 13 ล้านคนในทุกแพลตฟอร์ม โดยสโลแกนหลักของเพจปันโปร คือ “More For Life ปันมากกว่าโปร ให้คุณคุ้มค่ามากกว่าเดิม” นอกจากการนำเสนอโปรโมชันแล้ว บริษัทยังนำเสนอเนื้อหาที่หลากหลาย เช่น เรื่องราวที่มองว่าน่าสนใจหรือเรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค โดยเนื้อหาที่นำเสนอจะต้องแตกต่างทั้งในด้านข้อความ ภาพ และวิดีโอ เพื่อให้สามารถดึงดูดความสนใจของผู้ติดตามบนสื่อสังคมออนไลน์ได้อย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยได้รวบรวมและสังเคราะห์รูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 งานออกแบบเพื่องาน Affiliate Marketing

งาน Affiliate Marketing คือ รูปแบบการทำการตลาดให้กับบุคคลหรือบริษัทอื่นด้วยการโปรโมทสินค้าและบริการผ่านช่องทางของเรา เช่น สื่อสังคมออนไลน์หรือการสร้างเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน โดยมีวัตถุประสงค์ให้กลุ่มลูกค้าเลือกซื้อสินค้าหรือสมัครสมาชิกจากแพลตฟอร์มที่สร้างขึ้น ซึ่งเราจะได้รับค่าตอบแทนจากแบรนด์ที่เราทำการตลาดให้เป็นการออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อส่งเสริมการขายสินค้า ผ่านการนำเสนอโปรโมชั่นในรูปแบบต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทแรก คือ การลดราคา ซึ่งครอบคลุมสินค้าที่มีการปรับลดราคาตั้งแต่ราคาระดับหลักสิบไปจนถึงหลักพัน และประเภทที่สอง คือ การนำเสนอสินค้าในคอลเล็กชันใหม่ เพื่อแนะนำสินค้าชนิดใหม่ที่มีการออกแบบหรือการเปิดตัวในคอลเล็กชันใหม่ สุดท้ายคือ Infographic ซึ่งเป็นการนำเสนอข้อมูลสินค้า โปรโมชั่น หรือรายละเอียดที่สำคัญในรูปแบบที่เข้าใจง่าย โดยใช้การจัดวางองค์ประกอบภาพ ข้อความ อย่างเป็นระบบ เพื่อช่วยให้ผู้ชมสามารถรับรู้ข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและชัดเจนมากยิ่งขึ้น

1.1.1 การลดราคา (Sale Promotion) แนวทางการออกแบบกราฟิกตามมาตรฐานของบริษัท
ในรูปแบบของการลดราคา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

กรอบสี่ชมพู : วาง Logo ของบริษัทบนโปรโมชันมุมซ้ายหรือมุมขวาบนทุกครั้งของการทำงาน

กรอบสี่เหลี่ยม : ตัวสินค้าจะต้องอยู่ตรงกลางเสมอเพื่อให้สินค้าเด่น

กรอบสี่ฟ้า : ข้อความบอกรายละเอียดสินค้าเพิ่มเติมจะแนบไว้ข้างสินค้าเรียกว่า เขียนมีอ

กรอบสีแดง : บอกชื่อสินค้าหรือโปรโมชั่นของสินค้านั้น ๆ

กรอบสี่ส้ม : เน้นราคาที่ลดให้ใหญ่กว่าราคาเดิม

กรอบสีเขียว : ระบุวันเริ่มและจบของการจัดโปรโมชั่นและช่องทางการซื้อ

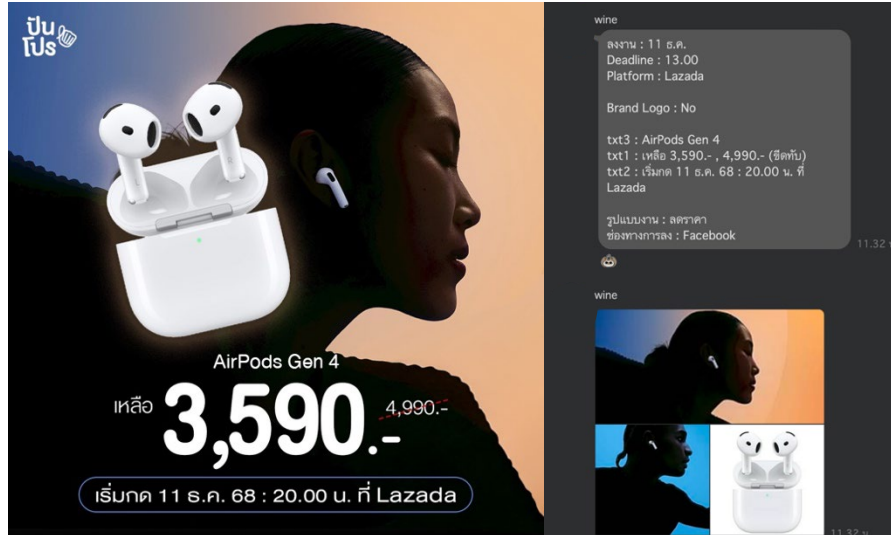


รูปที่ 1 ภาพตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบในรูปแบบของการลดราคา ขนาดกระดาษ 1080×1080 px

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิต

ในกรณีภาพสินค้าที่ได้มาจากลูกค้าให้เรามีฉากหลัง (Background) สามารถตกแต่งภาพด้วยโปรแกรมเพื่อจัดข้อความหรือองค์ประกอบในภาพได้เลย สามารถใช้การคำสั่ง Generative AI ในส่วนของรูปภาพที่ต้องการสร้างเพิ่มบริเวณพื้นที่ที่ไม่บดบังภาพสินค้า หากรูปสินค้าไม่มีฉากหลัง Background ทางกราฟิกจำเป็นต้องหาพื้นหลังมาใส่เพิ่มเติม

โดยการนำรูปพื้นหลังมาใช้ต้องเป็นรูปที่ถูกลิขสิทธิ์จากแหล่งข้อมูลที่มีให้บริการบนเว็บไซต์ต่าง ๆ หากภาพสินค้ามีการวางรูปแบบที่ไม่สอดคล้องกับการออกแบบสร้างเคลื่อนย้ายหรือวางตำแหน่งของตัวสินค้าใหม่ได้ตามความเหมาะสม



รูปที่ 2 ภาพสินค้าและคำสั่งงานประเภทงานสินค้าลดราคา แบบมีฉากหลังสินค้า

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิต

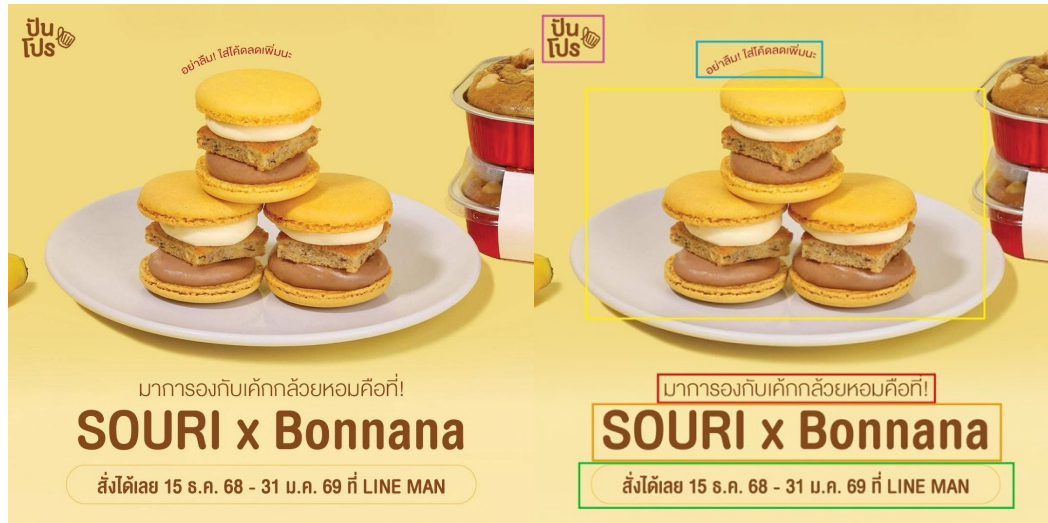


รูปที่ 3 ภาพสินค้าและคำสั่งงานประเภทงานสินค้าลดราคา แบบไม่มีฉากหลังสินค้า

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิต

1.1.2 การนำเสนอสินค้าวางตลาดใหม่ แนวทางการนำเสนอสินค้าในคอลเล็กชันใหม่ของเพจ บันโปรเน้นรูปแบบกราฟิกที่มีโครงสร้างชัดเจนในขนาด 1080×1080 px โดยวางโลโก้บริษัทบริเวณมุมบนซ้ายหรือ ขวาอย่างสม่ำเสมอ พร้อมจัดวางสินค้าไว้กึ่งกลางภาพเพื่อสร้างจุดเด่นหลัก ข้อมูลประกอบสินค้า เช่น รายละเอียดเพิ่มเติม จะถูกจัดวางด้านข้างในลักษณะลายมือเพื่อเพิ่มความเป็นกันเอง ข้อความสำคัญอย่างประเภทสินค้า และชื่อสินค้า/แบรนด์

จะถูกแยกส่วนอย่างชัดเจนเพื่อการสื่อสารที่ตรงประเด็น นอกจากนี้ยังต้องระบุวันเริ่มโปรโมชันและช่องทางการซื้ออย่างครบถ้วน และมีการจำแนกการนำเสนอออกเป็นหมวดหมู่สินค้า เช่น อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องสำอาง แฟชั่น อาหาร และงาน Collaboration ระหว่างแบรนด์สินค้า เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของสินค้าแต่ละประเภท มาตรฐานการออกแบบในรูปแบบของการนำเสนอสินค้าวางตลาดใหม่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 ภาพตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบในรูปแบบของการนำเสนอสินค้าวางตลาดใหม่ ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิตร

กรอบสี่ชมพู : วาง Logo ของบริษัทปันโปรโมชัน มุมซ้ายหรือมุมขวาบนทุกครั้งของการทำงาน

กรอบสี่เหลือง : ตัวสินค้าจะต้องอยู่ตรงกลางเสมอเพื่อให้สินค้าเด่น

กรอบสีฟ้า : บอกรายละเอียดสินค้าเพิ่มเติมจะแนบไว้ข้างสินค้าเรียกว่า เขียนมือ

กรอบสีแดง : บอกชื่อประเภทของสินค้า เช่น มาการอง ขนมเค้ก น้ำหอม เป็นต้น

กรอบสีส้ม : บอกชื่อสินค้าหรือแบรนด์นั้น ๆ (ถ้ามีการ Collab กันให้เขียนทั้งสองแบรนด์)

กรอบสีเขียว : ระบุวันเริ่มและจบของการจัดโปรโมชันและช่องทางการจัดจำหน่าย

การออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอกลยุทธ์การตลาดแบบสินค้าคอลแลป (Collaborative Marketing) เป็นเครื่องมือสำคัญในการสื่อสารความร่วมมือระหว่างธุรกิจตั้งแต่ 2 แบรนด์ขึ้นไป โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้า ขยายฐานลูกค้าและกระตุ้นยอดขาย เช่น การโปรโมทร่วมและการจัดโปรโมชันคู่สินค้า ในบริบทปัจจุบัน ทั้งแบรนด์ขนาดใหญ่และขนาดเล็กต่างนำกลยุทธ์นี้มาใช้อย่างแพร่หลาย การออกแบบกราฟิกที่มีประสิทธิภาพช่วยถ่ายทอด อัตลักษณ์ของทั้งสองแบรนด์ให้สอดคล้องประสานและโดดเด่นในภาพเดียวกัน พร้อมทั้งเน้นจุดขายร่วม (Co-Branding) เพื่อเสริมการจดจำของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ชื่อแบรนด์ รายละเอียดสินค้า และเงื่อนไขโปรโมชัน ให้มีความชัดเจน น่าสนใจ และส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 5 ภาพสินค้าและคำส่งงานประเภทการตลาดแบบสินค้าคอลแลป (Collaborative Marketing)

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิตร

1.1.3 การนำเสนอข้อมูลแบบ Infographic แนวทางการนำเสนอข้อมูลแบบอินโฟกราฟิกของเพจ ปันโปร สำหรับการสื่อสารโปรโมชันสินค้า มุ่งเน้นการจัดโครงสร้างข้อมูลให้กระชับ ชัดเจน และเข้าใจง่ายภายในพื้นที่จำกัด โดยใช้การจัดวางองค์ประกอบที่เป็นระบบ เช่น การกำหนดตำแหน่งสินค้า ข้อความ และสัญลักษณ์อย่างเหมาะสม เนื้อหาหลักประกอบด้วยชื่อสินค้า ประเภทสินค้า รายละเอียดโปรโมชัน และช่องทางการจัดจำหน่าย ซึ่งถูกออกแบบให้มีลำดับความสำคัญเพื่อดึงดูดความสนใจของผู้บริโภค การใช้สี ไอคอน และตัวอักษรช่วยเสริมการรับรู้และสร้างเอกลักษณ์ของแบรนด์อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ อินโฟกราฟิกยังช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารการตลาด ทำให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงข้อมูลและตัดสินใจซื้อได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ มาตรฐานการออกแบบของปันโปรโมชันในรูปแบบของ Infographic

กรอบสี่ชมพู : วาง Logo ของบริษัทปันโปรโมชันมุมซ้ายหรือมุมขวาบนทุกครั้งของการทำงาน

กรอบสี่เหลือง : ในการออกแบบ Infographic สินค้าสามารถจัดวางให้เหมาะสมได้ตามจำนวนของสินค้า เช่น สินค้า 6 อย่าง สามารถจัดวางแบ่งส่วนอย่างละ 3 อย่าง เป็นต้น และในแต่ละสินค้าต้องระบุชื่อสินค้าและราคาแต่จะเน้นที่ราคาให้มีขนาดที่ใหญ่เพื่อการมองเห็นได้ชัดเจน

กรอบสี่เขียว : ข้อความหลักจะแบ่งออกเป็นสามส่วน โดยส่วนบนทำหน้าที่ดึงดูดความสนใจและสื่อสารโปรโมชันหลัก ส่วนกลางนำเสนอสินค้าและรายละเอียดราคาเพื่อกระตุ้นการตัดสินใจซื้อ และส่วนล่างให้ข้อมูลเงื่อนไขเพิ่มเติมเพื่อสร้างความชัดเจนของโปรโมชันนั้น ๆ



รูปที่ 6 ภาพตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบในรูปแบบของ Infographic ขนาดกระดาษ 1600×2000 px

ภาพ: ลลิตการ ณะนิมิตร

1.2 งานออกแบบกราฟิกเพื่อสนับสนุน SEO /WEB

Search Engine Optimization (SEO) เป็นกลยุทธ์ทางการตลาดดิจิทัลที่มุ่งเพิ่มประสิทธิภาพของเว็บไซต์ให้สอดคล้องกับกลไกการทำงานของเครื่องมือค้นหา (Search Engine) เพื่อให้เว็บไซต์สามารถแสดงผลในลำดับต้นของหน้าผลการค้นหาแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย (Organic Search) แนวทางสำคัญของ SEO ประกอบด้วย การวิเคราะห์และกำหนดคำสำคัญ (Keywords) ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการค้นหาของกลุ่มเป้าหมาย และการนำคำสำคัญดังกล่าวไปบูรณาการในเนื้อหาอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังรวมถึงการจัดการโครงสร้างการเชื่อมโยงภายในเว็บไซต์ (Internal Links) และการเชื่อมโยงจากภายนอก (Backlinks) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของเว็บไซต์ ทั้งนี้ การดำเนินการ SEO จำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาและความเข้าใจในความต้องการของผู้บริโภค จึงจะสามารถส่งผลให้เว็บไซต์ติดอันดับในหน้าผลการค้นหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในส่วนของการออกแบบและจัดทำคอนเทนต์สำหรับเผยแพร่บนเว็บไซต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการเข้าถึงและสนับสนุนการค้นหาบนระบบ Search Engine ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.2.1 Seemore เป็นรูปแบบการนำเสนอคอนเทนต์ที่มุ่งเน้นข้อมูลสินค้าหรือเนื้อหาที่น่าสนใจในรูปแบบสรุปย่อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นความสนใจของผู้บริโภคและส่งเสริมให้เกิดการคลิกเข้าชมรายละเอียดเพิ่มเติมบนเว็บไซต์ ซึ่งช่วยเพิ่มจำนวนการเข้าชมและสนับสนุนประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ Search Engine มาตรฐานการออกแบบของปันโปรในรูปแบบของ Seemore มีดังนี้

กรอบสีชมพู: วาง Logo ของบริษัทปันโปรโมชันมุมซ้ายหรือมุมขวาบนทุกครั้งของการทำงาน

กรอบสีส้ม: ตัวสินค้าจะต้องอยู่ตรงกลางเสมอเพื่อให้สินค้าเด่น และต้องมีวงกลมวางหลังสินค้าเสมอ

กรอบสีแดง: ข้อความหลักบอกรายละเอียดชื่อแบรนด์ ออกแบบได้ตามลักษณะเด่นของแบรนด์

กรอบสี่เหลี่ยม: บอกรายละเอียดเกี่ยวกับประวัติหรือยอดขายของแบรนด์ สามารถสลับตำแหน่งของก่อนคำได้ตามความเหมาะสมโดยถ้ามีเลข จะเน้นให้เลขใหญ่กว่าตัวหนังสือเสมอ



รูปที่ 7 ภาพตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบของป็นโปรในรูปแบบของ Seemore

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิต

การออกแบบงานประเภท Seemore มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากงานออกแบบรูปแบบอื่น โดยฝ่ายคอนเทนต์มักไม่ได้กำหนดโทนสีไว้อย่างชัดเจน ส่งผลให้นักออกแบบต้องศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสัญลักษณ์ของแบรนด์ (Corporate Identity: CI) หรือสีของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ การเลือกใช้คู่สีที่มีความตัดกัน (Contrast) มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความน่าสนใจและดึงดูดสายตาของผู้บริโภค ในด้านข้อความหลัก (Headline) จำเป็นต้องมีความหลากหลายและไม่ซ้ำกัน เพื่อเสริมสร้างการจดจำของผู้รับสาร นอกจากนี้ งานออกแบบประเภท Seemore นิยมใช้โปรแกรม Adobe Illustrator เป็นเครื่องมือหลัก ซึ่งแตกต่างจากงานประเภท Affiliate ที่ใช้โปรแกรม Adobe Photoshop เป็นหลักในทุกชิ้นงาน สะท้อนถึงความแตกต่างในแนวทางและลักษณะของงานออกแบบแต่ละประเภท

1.2.2 Link in เป็นรูปแบบการนำเสนอคอนเทนต์เชิงให้ข้อมูลหรือการเล่าเรื่องเกี่ยวกับสินค้า แบรนด์ หรือกระแสที่กำลังได้รับความนิยม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างการรับรู้และความเข้าใจให้กับผู้บริโภค ผ่านการนำเสนอเนื้อหาที่มีความน่าสนใจและสอดคล้องกับพฤติกรรมของผู้ใช้งานในปัจจุบัน เช่น การนำเสนอแนวคิด ความน่าสนใจ หรือปัจจัยที่ทำให้แบรนด์ประสบความสำเร็จ เป็นต้น มีมาตรฐานการออกแบบของป็นโปรในรูปแบบของ Link in มีรายละเอียดดังนี้

กรอบสี่มุม: จำเป็นต้องวาง Logo ของบริษัทป็นโปรโมชั่นมุมซ้ายบนทุกครั้งของการทำงาน

กรอบสี่เหลี่ยม: ตัวสินค้าจะต้องอยู่ตรงกลางเสมอเพื่อให้สินค้าเด่น

กรอบสี่ฟ้: จำเป็นต้องวาง Logo ของ Link in มุมขวาบนทุกครั้งของการทำงาน

กรอบสีแดง: บอกรายละเอียดเกี่ยวกับแบรนด์ เช่น ชื่อหรือประวัติของแบรนด์นั้น และจะมีประโยคที่กำหนดว่าจำเป็นต้องใส่ทุกครั้งให้เปลี่ยนแค่คำด้านหลังอย่างเดียวนั่นก็คือประโยค “เค้าทำยังไง ...” นอกจากนี้ในการออกแบบและเซฟงานส่งของงานประเภท Link in จะมีทั้งหมด 2 ขนาดสำหรับลงเว็บไซต์ที่ต่างกัน คือ ขนาดแนวตั้งและ แนวนอน

บริเวณรอบ ๆ ภาพสินค้าใช้การละลายฉากหลังแบบ Radial Blur ในโปรแกรม Adobe photoshop เพื่อให้โฟกัสตัวสินค้ามากขึ้น ในการละลายฉากหลังจะไม่ละลายมากเกินไปแค่ละลายเพื่อให้รอบข้างไม่เด่นไปกว่าตัวสินค้าที่นำเสนอ



รูปที่ 8 ภาพตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบของป็นโปรในรูปแบบของ Link in ขนาดแนวตั้ง 3334 x 4167 px

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิตร

การออกแบบงานกราฟิกประเภท Link in ทางฝ่ายข้อมูลจะให้คำสั่งงาน ระบุการใช้โทนสีที่เป็น CI หรือ Corporate Identity ของแบรนด์นั้น โดยเน้นที่เครื่องหมายสัญลักษณ์ “.....” ใช้สีกับข้อความหลักส่วนใหญ่เป็นชื่อของแบรนด์ แล้วจึงเน้นประโยคหรือข้อความรอง “เค้าทำยังไง...” ดังเช่นภาพตัวอย่างที่เน้นสีในคำว่า 1 ปีขาย 400 ล้านแก้ว ?

1.2.3 Give Always ปันนี้ให้เธอ กิจกรรมเพื่อการบริจาคเป็นลักษณะของคอนเทนต์ที่มุ่งเน้นการประชาสัมพันธ์กิจกรรมเพื่อสังคม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมและส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดีของแบรนด์

กรอบสี่ชมพู: จำเป็นต้องวาง Logo ของบริษัทปันโปรโมชั่นมูซึยบนทุกครั้งของการทำงาน โดยงานนี้จะมี Logo ของบริษัทปันโปรโมชั่นสองแบบในการเซฟงานก็ต้องเซฟทั้งสองแบบ

กรอบสี่เหลือง: ตัวสินค้าจะต้องอยู่ตรงกลางเสมอเพื่อให้สินค้าเด่น

กรอบสีฟ้า: จัดวาง Logo ของ Give มุมขวาบนทุกครั้ง โดยสัญลักษณ์รูปมือใน Logo ต้องเปลี่ยนสีให้สอดคล้องกับเครื่องวงกลมที่วางหลังข้อความหลัก เช่น วงกลมสีชมพู สัญลักษณ์รูปมือก็ต้องเป็นสีชมพูเช่นกัน

กรอบสีแดง: บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการบริจาคโดยต้องให้คำว่า “บริจาค” ใหญ่ที่สุดลงมาด้วยสิ่งของนั้น ๆ ที่ต้องการเสนอให้บริจาค

กรอบสีเขียว: บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการบริจาคเพื่อประโยชน์ด้านใด เช่น ช่วยลดขยะ ช่วยลดโลกร้อน ช่วยให้เด็กกำพร้า เป็นต้น กรอบของข้อความนี้ต้องมีสีที่ตรงข้ามกับเครื่องวงกลมเพื่อเน้นให้ข้อความนี้เด่น

โทนสีที่ใช้ในงานออกแบบใช้สีโทน Pastel เป็นส่วนใหญ่เพราะเนื่องจากงานออกแบบอื่นของบริษัท ปันโปรโมชันมีสีที่หลากหลายและไปในทางโทนเข้ม งานนี้จึงใช้สีที่เบาลงมาเพื่อผ่อนคลายอารมณ์ของผู้ชม และสิ่งสำคัญคือต้องทำการเบลอโลโก้ของผลิตภัณฑ์ก่อนการเผยแพร่ทุกครั้งเพื่อไม่ให้ผิดวัตถุประสงค์ของงาน



รูปที่ 9 ภาพตัวอย่างมาตรฐานการออกแบบของปันโปรโมชันในรูปแบบของ Give Always ขนาดแนวตั้ง 1600 × 2000 px
ภาพ: ลลิตากร ชนะนิมิตร

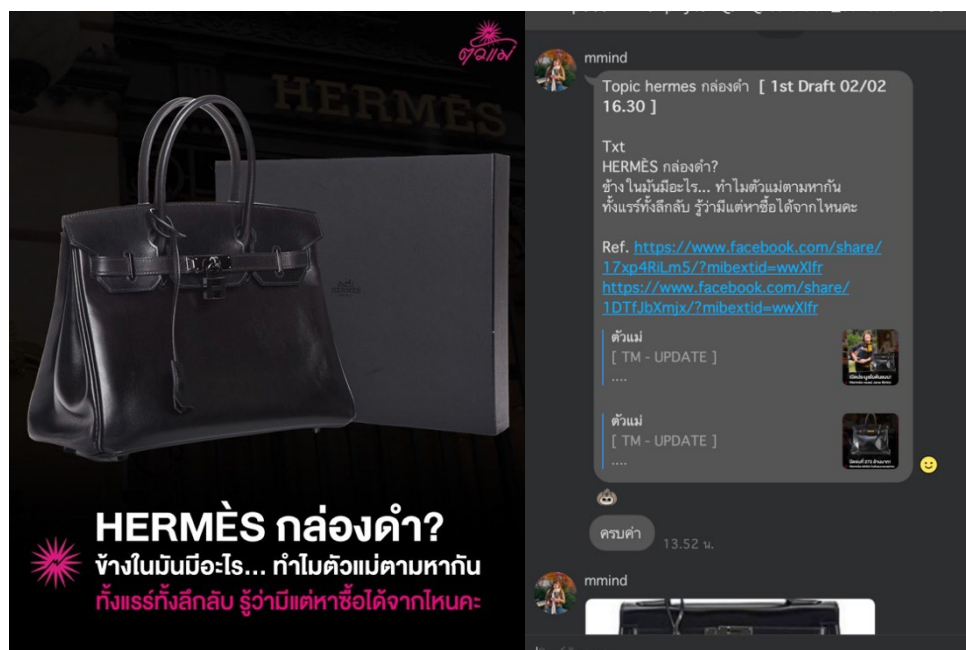
2. แนวทางออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์

งานที่จัดอยู่ในกลุ่มภารกิจพิเศษเป็นลักษณะงานที่มีได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า โดยมีความยืดหยุ่นตามความต้องการของทีมกราฟิกและทีมผลิตคอนเทนต์ เพื่อสนับสนุนและปรับปรุงชิ้นงานในองค์ประกอบต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ตัวอย่างของภารกิจดังกล่าว ได้แก่ การจัดวางภาพสำหรับสื่อแสดงผล (Screen Placement) การปรับแต่งภาพ (Retouching) และการตัดแยกภาพ (Di-Cut) ทั้งนี้ ในทุกแนวทางดำเนินงานมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Generative AI) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความสะดวกและความรวดเร็วในการปฏิบัติงาน

การออกแบบ Artwork ในส่วนของงานที่เป็นภารกิจหลักผู้จัดทำได้เลือกใช้โปรแกรมที่มีความเหมาะสมในด้านการตัดต่อและแก้ไขภาพด้วยเทคโนโลยี Generative AI คือโปรแกรม Adobe photoshop ใช้สำหรับออกแบบงาน Affiliate (การลดราคาและการนำเสนอสินค้าวางตลาดใหม่) รวมถึงการออกแบบ Infographic ซึ่งโปรแกรมนี้เหมาะสำหรับการแก้ไข

เรื่องของสีและโครงงานของเงาได้ดีสามารถปรับขนาดและสร้างสรรค์องค์ประกอบการจัดการได้ค่อนข้างหลากหลายจึงเหมาะกับการออกแบบงานในส่วนของการงานที่เป็นภารกิจหลัก ส่วนการใช้โปรแกรม Adobe Illustrator ในการออกแบบมีทั้งออกแบบในส่วนของการงานที่เป็นภารกิจหลัก เช่น Seemore และงานที่เป็นภารกิจพิเศษ เช่น งานออกแบบ POV ของเพจลูกคุณหนู ซึ่งการออกแบบในโปรแกรมนี้นั้นส่วนใหญ่เป็นการสร้างกราฟิกประเภทเวกเตอร์ (Vector) ที่ต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์และเวลาในการออกแบบเวกเตอร์โปรแกรมนี้จึงให้ประสิทธิภาพได้ดีในด้านการสร้างและจัดวางเวกเตอร์ โดยรายละเอียดของภารกิจมีดังต่อไปนี้

2.1 การจัดวางภาพสำหรับสื่อแสดงผล (Screen Placement)



รูปที่ 10 ภาพสินค้าและคำสั่งงานประเภทงาน Topic หมวดสินค้าเครื่องหนังและกระเป๋า

ภาพ: ลลิตากร ธาระนิมิตร

การออกแบบชิ้นงานประเภท Topic ฝ่ายคอนเทนต์จะจัดเตรียมภาพประกอบและรายละเอียดของงาน โดยผู้ออกแบบสามารถคัดเลือกและประยุกต์ใช้ภาพที่ได้รับตามความเหมาะสมของบริบทงาน ทั้งนี้ หากพบว่าภาพที่ได้รับไม่สามารถจัดวางให้เกิดความเหมาะสมด้านองค์ประกอบภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ออกแบบสามารถประสานงานกับฝ่ายคอนเทนต์เพื่อขอรับภาพเพิ่มเติมได้ กรณีที่จำนวนภาพมีจำกัด ทีมกราฟิกอาจจำเป็นต้องจัดหาทรัพยากรภาพเพิ่มเติมด้วยตนเอง โดยเฉพาะในส่วนของพื้นหลัง ซึ่งต้องคำนึงถึงความสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของแบรนด์ (Brand Identity) เป็นสำคัญ

2.2 การปรับแต่งภาพ (Retouching) แนวทางการปรับแต่งภาพ (Retouching) สำหรับตำแหน่งกราฟิกของเพจโปร มุ่งเน้นการยกระดับคุณภาพของภาพให้สอดคล้องกับมาตรฐานการสื่อสารแบรนด์และความต้องการเชิงพาณิชย์ โดยครอบคลุมขอบข่ายงานสำคัญ ได้แก่ การปรับเปลี่ยนรูปแบบสินค้าในภาพ เพื่อเพิ่มความเหมาะสมด้านองค์ประกอบและ

การนำเสนอ การปรับแก้และลบองค์ประกอบที่ไม่จำเป็น อันอาจรบกวนการรับรู้ของผู้บริโภค การปรับแต่งภาพอาหารเพื่อลบข้อบกพร่อง เช่น รอยตำหนิหรือความไม่สมบูรณ์ของพื้นผิวอาหาร การปรับแก้คำสีของชิ้นงานสินค้าให้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของแบรนด์ และ การเบลลอหรือปกปิดข้อความบนบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้ปรากฏในสื่อเผยแพร่ ทั้งนี้แนวทางดังกล่าวต้องคำนึงถึงความสมจริงของภาพความน่าเชื่อถือของข้อมูลและจริยธรรมในการสื่อสารภาพ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการถ่ายทอดสารและสร้างการรับรู้แก่กลุ่มเป้าหมาย



รูปที่ 11 ภาพผลงานการปรับแต่งภาพ (Retouching) จุดบกพร่องของเค้ก

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิตร

2.3 การตัดแยกภาพ (Di-Cut) แนวทางการตัดแยกภาพ (Di-Cut) สำหรับตำแหน่งกราฟิกของเพจโปร
มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความชัดเจนของวัตถุและยกระดับคุณภาพการสื่อสารเชิงภาพให้มีประสิทธิภาพ โดยครอบคลุมขอบข่ายงานสำคัญ ได้แก่ การตัดแยกภาพยานยนต์ไฟฟ้า (EV Car) สำหรับคอนเทนต์ด้านยานยนต์ซึ่งต้องคงรายละเอียดของรูปทรงแสง และเงาอย่างถูกต้อง การตัดแยกภาพบุคคลพร้อมลบองค์ประกอบที่ไม่จำเป็น เพื่อเน้นตัวแบบและลดสิ่งรบกวนสายตา การตัดแยกและปรับแต่งภาพสินค้าเครื่องหนังและกระเป๋า โดยให้ความสำคัญกับพื้นผิวและรายละเอียดของวัสดุ การตัดแยกภาพผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกาย ซึ่งต้องคงความสะอาดและความน่าเชื่อถือของภาพลักษณะสินค้า และการตัดแยกภาพสินค้าเครื่องประดับอัญมณี ที่ต้องรักษาความแวววาวและมิติของแสงสะท้อนอย่างเหมาะสม ทั้งนี้ แนวทางทั้งหมดควรดำเนินการภายใต้หลักความสมจริง ความประณีตและความสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของแบรนด์เพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุดในการนำเสนอเนื้อหาเชิงพาณิชย์



รูปที่ 12 ภาพสินค้าประเภทเครื่องประดับอัญมณีที่ผ่านการทำ Di - cut

ภาพ: ลลิตากร ธนะนิมิตร

3. การประเมินรับรอง

แนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ กรณีศึกษาเฟสบุ๊คเพจปันโปร ผ่านการประเมินรับรองโดยใช้ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ประกอบด้วย อาจารย์ผู้สอนวิชาการออกแบบกราฟิก จำนวน 2 คน อาจารย์ผู้สอนวิชาสื่อสารการตลาด จำนวน 2 คน และผู้บริหารสายงานการผลิตเนื้อหาบนสื่อสังคมออนไลน์ จำนวน 4 คน รวมทั้งสิ้น 8 ท่าน เครื่องมือที่ใช้คือ แบบสอบถามเพื่อประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องต่อแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ ดังข้อมูลในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์

รายละเอียดหัวข้อการประเมินรับรอง	ค่าสถิติ		
	จำนวนผู้ตอบ	$\bar{X}$	S.D.
1. รูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด			
1.1 งานออกแบบเพื่องาน Affiliate Marketing	8	4.75	0.46
1.2 งานออกแบบกราฟิกเพื่อสนับสนุน SEO /Website	8	4.75	0.46
2. แนวทางออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์			
2.1 การจัดวางภาพสำหรับสื่อแสดงผล (Screen Placement)	8	4.50	0.53
2.2 การปรับแต่งภาพ (Retouching)	8	4.25	0.71
2.3 การตัดแยกภาพ (Di-Cut)	8	4.50	0.76
ผลเฉลี่ยรวม	8	4.55	0.40

จากตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินรับรองแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่นบนสื่อสังคมออนไลน์ แนวทางหลักสำคัญ 2 ประการ ข้อ 1 รูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด ประกอบด้วยงานออกแบบเพื่องาน Affiliate Marketing อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.75$, S.D. = 0.46) และงานออกแบบกราฟิกเพื่อสนับสนุน SEO /Website อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.75$, S.D. = 0.46) ข้อ 2 แนวทางออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชั่น

บนสื่อสังคมออนไลน์ ประกอบด้วยการจัดวางภาพสำหรับสื่อแสดงผล (Screen Placement) อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.50, S.D. = 0.53) การปรับแต่งภาพ (Retouching) อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.25, S.D. = 0.71) การตัดแยกภาพ (Di-Cut) อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.50, S.D. = 0.76) โดยสรุปผลเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.55, S.D. = 0.40)

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาแนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ กรณีศึกษาเฟสบุ๊คเพจ ปันโปร พบว่า การออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ มีแนวทางหลักสำคัญ 2 ประการที่จะทำให้แนวทางการออกแบบกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์มีความสมบูรณ์ ประการแรกคือรูปแบบการนำเสนอดิจิทัลคอนเทนต์ของบริษัท ปันโปรโมชัน จำกัด ประกอบด้วยงานออกแบบเพื่องาน Affiliate Marketing และงานออกแบบกราฟิกเพื่อสนับสนุน SEO /Website สอดคล้องกับการศึกษา Salsabila et al. [11] ที่ชี้ให้เห็นว่า การออกแบบกราฟิกเป็นองค์ประกอบสำคัญในการสื่อสารคุณค่าและเนื้อหาทางการตลาดบนแพลตฟอร์มดิจิทัล โดยเฉพาะสื่อสังคมออนไลน์ ซึ่งสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแบรนด์กับผู้บริโภค และเพิ่มความภักดีต่อแบรนด์ได้ อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Tazkia และ Fahriel [12] ที่พบว่าการใช้สื่อสังคมออนไลน์ในธุรกิจออกแบบกราฟิกเป็นกลไกสำคัญในการสร้างการรับรู้แบรนด์ การมีส่วนร่วมของผู้บริโภค และการเพิ่มโอกาสทางธุรกิจผ่านกลยุทธ์ e-marketing อีกทั้งยังพบว่าผลการศึกษาของ Onchuen, C., Suksaset, P., & Phanbut, S. [13] ที่ระบุว่ารูปแบบกราฟิกสำหรับสื่อดิจิทัลต้องคำนึงถึงลักษณะของแพลตฟอร์มที่ใช้เผยแพร่ เช่น ขนาดของภาพ รูปแบบการนำเสนอ และพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ เพื่อให้สื่อสามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ การออกแบบกราฟิกในยุคดิจิทัลจึงไม่ได้มุ่งเน้นเพียงความสวยงามของงานออกแบบเท่านั้น แต่ยังคงคำนึงถึงประสิทธิภาพในการสื่อสาร ความเหมาะสมของเนื้อหากับแพลตฟอร์ม และความสามารถในการดึงดูดความสนใจของผู้รับสารในสภาพแวดล้อมของสื่อออนไลน์ที่มีการแข่งขันสูง

ประการที่สอง คือแนวทางออกแบบสื่อกราฟิกเพื่อการนำเสนอโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ ประกอบด้วยการจัดวางภาพสำหรับสื่อแสดงผล การปรับแต่งภาพและการตัดแยกภาพ สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhang and Rungsuk [14] ที่อธิบายว่า การพัฒนาของสื่อดิจิทัลได้ส่งผลให้แนวทางออกแบบกราฟิกต้องผสมผสานเทคนิคการจัดองค์ประกอบภาพ การปรับแต่งภาพ และการใช้เทคโนโลยี เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมผู้บริโภคในยุคสื่อใหม่ อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Alshorman et al. [15] ซึ่งพบว่า องค์ประกอบของการออกแบบกราฟิกบนสื่อสังคมออนไลน์ เช่น การจัดวางองค์ประกอบภาพ ความสมดุล และความชัดเจนของภาพ ส่งผลโดยตรงต่อระดับการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งาน

โดยสรุป ผลการวิจัยครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่า การออกแบบกราฟิกในบริบทของสื่อสังคมออนไลน์ไม่ได้มีบทบาทเพียงในเชิงสุนทรียภาพ หากแต่เป็นกลไกเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญในการขับเคลื่อนการสื่อสารการตลาดดิจิทัลในหลากหลายมิติ ทั้งในด้านการสนับสนุน Affiliate Marketing และการเพิ่มประสิทธิภาพของ SEO/Website อันส่งผลต่อการเข้าถึงและการรับรู้ของผู้บริโภคอย่างเป็นรูปธรรม ในแนวทางออกแบบกราฟิกที่ประกอบด้วยการจัดวางภาพ การปรับแต่งภาพ และการตัดแยกภาพ ถือเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญในการยกระดับคุณภาพของการนำเสนอเนื้อหาเชิงโปรโมชัน โดยช่วยเพิ่มความน่าสนใจ ความชัดเจนของสาร และกระตุ้นการมีส่วนร่วมของผู้บริโภคได้อย่างมีนัยสำคัญ การออกแบบกราฟิกจึงควรถูกพิจารณาในฐานะเครื่องมือเชิงยุทธศาสตร์ที่บูรณาการทั้งด้านความคิดสร้างสรรค์ เทคโนโลยี และการตลาดเข้าด้วยกัน เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมผู้บริโภคและแนวโน้มการสื่อสารในยุคดิจิทัลที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

ข้อเสนอแนะ

1. หน่วยงานหรือองค์กรที่ดำเนินงานด้านการตลาดบนสื่อสังคมออนไลน์ควรนำแนวทางการออกแบบกราฟิกไปประยุกต์ใช้ในเชิงกลยุทธ์ โดยให้ความสำคัญกับการบูรณาการแนวทางออกแบบ ได้แก่ การจัดวางภาพ การปรับแต่งภาพ และการตัดแยกภาพ เข้ากับวัตถุประสงค์ทางการตลาด เช่น การส่งเสริม Affiliate Marketing และการสนับสนุน SEO/Website เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเข้าถึงและการมีส่วนร่วมของผู้บริโภค นอกจากนี้ ควรพัฒนาศักยภาพของบุคลากรด้านกราฟิกให้สามารถใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและเครื่องมือสมัยใหม่ เช่น โปรแกรมออกแบบขั้นสูงและ Generative AI เพื่อยกระดับคุณภาพและความรวดเร็วในการผลิตชิ้นงาน ตลอดจนกำหนดแนวปฏิบัติมาตรฐาน (Guidelines) ที่สอดคล้องกับอัตลักษณ์ของแบรนด์ เพื่อให้การสื่อสารมีความเป็นเอกภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. การวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตการศึกษาไปยังแพลตฟอร์มสื่อสังคมออนไลน์อื่น ๆ เช่น Instagram, TikTok หรือ YouTube เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบและประสิทธิภาพของการออกแบบกราฟิกในบริบทที่แตกต่างกัน รวมทั้งควรศึกษาเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อวัดผลกระทบขององค์ประกอบการออกแบบ เช่น สี รูปแบบตัวอักษร หรือองค์ประกอบภาพ ต่อพฤติกรรมผู้บริโภคอย่างเป็นรูปธรรม นอกจากนี้ ควรมีการบูรณาการกรอบแนวคิดทางทฤษฎี เช่น การสื่อสารเชิงภาพ (Visual Communication) หรือพฤติกรรมผู้บริโภค (Consumer Behavior) เพื่อยกระดับความลึกซึ้งทางวิชาการ ตลอดจนศึกษาบทบาทของเทคโนโลยีใหม่ เช่น ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบอัตโนมัติ ในการสนับสนุนแนวทางการออกแบบกราฟิก เพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มของอุตสาหกรรมดิจิทัลในอนาคต

3. นักออกแบบกราฟิกควรออกแบบสื่อให้ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ทางการตลาดควบคู่กับการสื่อสารข้อมูล โปรโมชันให้ชัดเจนและน่าสนใจ ผู้ปฏิบัติงานควรศึกษาลักษณะเฉพาะของแต่ละแพลตฟอร์มสื่อสังคมออนไลน์ เพื่อออกแบบสื่อให้เหมาะสมกับพฤติกรรมผู้บริโภค นอกจากนี้ควรพัฒนาทักษะด้านการจัดวางองค์ประกอบภาพ การปรับแต่งภาพ และการตัดแยกภาพ เพื่อเพิ่มคุณภาพและความเป็นมืออาชีพของสื่อดิจิทัลรวมถึงการเข้าถึงและการมีส่วนร่วมของผู้บริโภค อีกทั้งสถาบันการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางพัฒนาหลักสูตรด้าน Graphic Design และ Digital Marketing ให้สอดคล้องกับการทำงานจริงในยุคดิจิทัล และช่วยสร้างมาตรฐานการออกแบบสื่อโปรโมชันบนสื่อสังคมออนไลน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Apipornchaisakul, "Internet usage behavior of Thai people," *The Prachakorn*, Jun. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.theprachakorn.com/newsDetail.php?id=907>. [Accessed: Mar. 9, 2026] (in Thai).
- [2] Policy Watch Editorial Team, "Government policy article," *Thai PBS Policy Watch*, 2024. [Online]. Available: <https://policywatch.thaipbs.or.th/article/government-83>. [Accessed: Mar. 9, 2026] (in Thai).
- [3] Appart, "Graphic design vs. digital design: Understanding the key differences," *ThinkAppart*, 2024. [Online]. Available: <https://thinkappart.com/th/graphic-design/การออกแบบกราฟิกกับการออกแบบดิจิทัล/>. [Accessed: Mar. 10, 2026] (in Thai).
- [4] A. Isawanyatham, "Marketing 101: What does the fourth P 'promotion' mean and what are its types?," *Marketeer Online*, 2024. [Online]. Available: <https://marketeeronline.co/archives/370512>. [Accessed: Mar. 10, 2026] (in Thai).

-
- [5] M. K. R. Sapawi, V. T. Anjarsari, K. Nugroho, and Retnowati, "The influence of graphic design in digital marketing industry: An experimental study," *Proceeding of the International Conference on Mathematical Sciences, Natural Sciences, and Computing*, vol. 1, no. 2, pp. 49–57, 2024, doi:10.62383/icmsnsc.v1i2.22.
- [6] N. L. Rahma and A. Rohimah, "The role of graphic design in Disway's daily digital content strategy," *International Journal of Communication, Media, and Development Studies*, vol. 3, no. 1, pp. 20–26, 2026. [Online]. Available: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/commedies/article/view/46160>. [Accessed: Apr. 1, 2026].
- [7] K. Mitrović, A. Jakšić Flujeraš, and J. Spajić, "The analysis of graphic design platforms used in social media marketing," in *Proc. Int. Symp. Graphic Engineering and Design (GRID)*, Novi Sad, Serbia, 2020, pp. 651–657, doi: 10.24867/GRID-2020-p74.
- [8] P. Nukulsomprattana, "Types of real-time content for creating appropriate brand content," *Popticles*, 2024. [Online]. Available: <https://www.popticles.com/marketing/types-of-real-time-content-for-brand/>. [Accessed: Apr. 1, 2026] (in Thai).
- [9] *Marketeer Online*, "'Punpro' extends its 'More For Life' positioning: Leveraging consumer insights to deliver greater value," 2023. [Online]. Available: <https://marketeeronline.co/archives/311667>. [Accessed: Mar. 10, 2026] (in Thai).
- [10] M. B. Miles and A. M. Huberman, *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*, 2nd ed. Thousand Oaks, CA, USA: Sage Publications, 1994.
- [11] S. Salsabila, M. Al-Fhatih, M. Agustin, M. K. Mufid Andria, and A. Chairunnisa, "The role of graphic design in sustainable marketing amidst digital transformation: A systematic literature review," *International Journal of Graphic Design*, vol. 3, no. 1, pp. 156–174, 2025, doi: 10.51903/ijgd.v3i1.2755.
- [12] Z. Z. Tazkia and F. Fahriel, "Analysis of LinkedIn social media usage for e-marketing in graphic design studios," *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*, vol. 2, no. 1, pp. 147–151, 2025, doi: 10.33197/justinfo.v2i1.1794.
- [13] C. Onchuen, P. Suksaset, and S. Phanbut, "The development of concepts and graphic design processes: A case study of graphic designers awarded the Silpathorn Award and Designer of the Year Award during 2009–2019," *Institute of Culture and Arts Journal, Srinakharinwirot University*, vol. 26, no. 1, pp. 22–37, 2024. [Online]. Available: <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jica/article/view/269981>. [Accessed: Mar. 10, 2026] (in Thai).
- [14] X. Zhang and A. Rungsuk, "The influence of digital media art on graphic design under new media era," *Journal of Social Research and Culture*, vol. 25, no. 2, 2024. [Online]. Available: <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/jsr/article/view/265167>. [Accessed: Mar. 10, 2026] (in Thai).
- [15] Q. H. A. Alshorman, M. N. A. Hamid, and A. Alwi, "The effect of graphic design elements on social media engagement from perspective of design faculties students in Jordanian universities," *YMER Digital*, vol. 22, no. 8, pp. 161–173, 2025, doi: 10.37896/YMER22.08/15.

การพัฒนาโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยเสี่ยงเชิงพฤติกรรม

ในการขนส่งวัตถุอันตรายโดยใช้ข้อมูลจากระบบ ADAS และ DMS

DEVELOPMENT OF A CAUSAL RELATIONSHIP MODEL OF BEHAVIORAL RISK
FACTORS IN DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION USING ADAS AND DMS DATAณัฐวุฒิ พุ่มพุกศรี^{1*} และ มณิสรา บารมีชัย²Nattawut Pumpugsri¹ and Manisra Baramichai²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย^{1,2}School of Engineering, University of the Thai Chamber of Commerce^{1,2}Author: email : nattawut_pum@utcc.ac.th^{1*}, j.manibara@gmail.com²

Received: April 1, 2026

Revised: June 5, 2026

Accepted: June 12, 2026

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Driver State Warning (DSW) และ Headway Monitoring Warning (HMMW) 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Headway Monitoring Warning (HMMW) และ Forward Collision Warning (FCW) 3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Forward Collision Warning (FCW) และ Pedestrian Collision Warning (PCW) และ 4) พัฒนาโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยเสี่ยงเชิงพฤติกรรมในการขนส่งวัตถุอันตราย โดยใช้ข้อมูลจากระบบตรวจจับพฤติกรรมผู้ขับขี่ Driver Monitoring System (DMS) และระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง Advanced Driver Assistance System (ADAS) ที่ได้จากการทดลองภาคสนามบนรถบรรทุกขนาดใหญ่จำนวน 10 คัน ภายใต้สภาพการใช้งานจริง โดยกำหนดระยะทางการเก็บข้อมูลคันละ 1,000 กิโลเมตร ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ Driver State Warning (DSW), Headway Monitoring Warning (HMMW), Forward Collision Warning (FCW) และ Pedestrian Collision Warning (PCW) ซึ่งถูกกำหนดตามกรอบแนวคิดการถ่ายทอดความเสี่ยงจากสภาพของผู้ขับขี่ไปสู่ความเสี่ยงของการชนในระดับที่สูงขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบลำดับขั้นเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและพัฒนาโมเดลที่เสนอ ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายแบบไม่ปกติ โดยมีค่าความเบ้และค่าความโด่งในระดับสูง สะท้อนลักษณะของเหตุการณ์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอภายใต้สภาพการขับขี่จริง ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง HMMW และ FCW ($p = 0.656$, $p = 0.039$) และระหว่าง FCW และ PCW ($p = 0.636$, $p = 0.048$) ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแสดงให้เห็นว่า DSW มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ HMMW ($\beta = 0.967$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.935$) HMMW มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ FCW ($\beta = 0.971$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.942$) และ FCW มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ PCW ($\beta = 0.972$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.946$) ผลลัพธ์ดังกล่าวสนับสนุนโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุที่เสนอ ซึ่งอธิบายการถ่ายทอดความเสี่ยงจากสภาพของผู้ขับขี่ไปสู่พฤติกรรมที่เสี่ยงและไม่ปลอดภัย และพัฒนาไปสู่ความเสี่ยงของการชนในระดับที่สูงขึ้นตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของข้อมูลจากระบบ DMS และ ADAS ในการอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยเสี่ยงเชิงพฤติกรรม และสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาแบบจำลองความปลอดภัย การประเมินความเสี่ยงเชิงรุก และมาตรการป้องกันอุบัติเหตุในการขนส่งวัตถุอันตรายในอนาคต

คำสำคัญ: การขนส่งวัตถุอันตราย, ระบบติดตามผู้ขับขี่ (DMS), ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (ADAS), เทเลเมติกส์, การวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงพฤติกรรม

Abstract

This study aimed to 1) examine the relationship between Driver State Warning (DSW) and Headway Monitoring Warning (HMW), 2) investigate the relationship between Headway Monitoring Warning (HMW) and Forward Collision Warning (FCW), 3) examine the relationship between Forward Collision Warning (FCW) and Pedestrian Collision Warning (PCW), and 4) develop a causal relationship model of behavioral risk factors in dangerous goods transportation using data obtained from a Driver Monitoring System (DMS) and an Advanced Driver Assistance System (ADAS). The study was conducted through a field experiment involving 10 heavy-duty vehicles operating under real-world conditions, with each vehicle monitored over a distance of 1,000 kilometers. The variables investigated included Driver State Warning (DSW), Headway Monitoring Warning (HMW), Forward Collision Warning (FCW), and Pedestrian Collision Warning (PCW), which were structured within a conceptual framework describing the progression of risk from driver conditions to higher levels of collision risk. Data were analyzed using descriptive statistics, Spearman's rank correlation, and sequential linear regression to evaluate the relationships among variables and develop the proposed causal model.

The results indicated that all variables exhibited non-normal distributions characterized by high levels of skewness and kurtosis, reflecting the irregular occurrence of risk-related events under real-world driving conditions. Correlation analysis revealed significant positive relationships between HMW and FCW ($\rho = 0.656$, $p = 0.039$) and between FCW and PCW ($\rho = 0.636$, $p = 0.048$). Regression analysis demonstrated that DSW had a significant positive effect on HMW ($\beta = 0.967$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.935$), HMW had a significant positive effect on FCW ($\beta = 0.971$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.942$), and FCW had a significant positive effect on PCW ($\beta = 0.972$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.946$). These findings support the proposed causal relationship model, indicating that risk propagates from driver conditions to unsafe driving behaviors and subsequently to higher levels of collision risk. The study highlights the potential of DMS and ADAS data in explaining behavioral risk mechanisms and provides a foundation for the development of safety models, proactive risk assessment frameworks, and accident prevention strategies in dangerous goods transportation.

Keywords: Dangerous Goods Transportation, Driver Monitoring Systems (DMS), Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), Telematics, Behavioral Risk Analysis

บทนำ

การขนส่งวัตถุอันตรายมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในระบบโลจิสติกส์สมัยใหม่ เนื่องจากเป็นกลไกสนับสนุนการผลิตภาคอุตสาหกรรม การจัดหาพลังงาน และการพัฒนาเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม ลักษณะเฉพาะของวัตถุอันตรายทำให้การขนส่งมีความเสี่ยงในระดับสูง โดยอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยของมนุษย์ และความเสียหายทางเศรษฐกิจ ดังนั้น การยกระดับความปลอดภัยในการขนส่งวัตถุอันตรายจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับ ความสนใจอย่างต่อเนื่องจากทั้งภาครัฐและภาคอุตสาหกรรม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเทเลเมติกส์ ระบบตรวจจับพฤติกรรมผู้ขับขี่ (Driver Monitoring Systems: DMS) และระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advanced Driver Assistance Systems: ADAS) ได้เปิดโอกาสให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลการขับขี่แบบเรียลไทม์ และวิเคราะห์เหตุการณ์เฉียดอุบัติเหตุ (near-miss events) ได้อย่างเป็นระบบ เช่น การเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (Headway Monitoring Warning: HMW) การเตือนก่อนการชน (Forward Collision Warning: FCW) และการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (Pedestrian Collision Warning: PCW) ซึ่งสะท้อนถึงระดับความเสี่ยงในการขับขี่ที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง [1-3] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่มีแนวโน้มการวิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านความปลอดภัยในลักษณะรายตัว หรือใช้ข้อมูลอุบัติเหตุในภาพรวม โดยยังขาดการอธิบายความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่างปัจจัยความเสี่ยงเชิงพฤติกรรม โดยเฉพาะกลไกที่สภาพของผู้ขับขี่ส่งผลต่อพฤติกรรม การขับขี่ และพฤติกรรมดังกล่าวพัฒนาไปสู่ระดับความเสี่ยงที่สูงขึ้น อย่างเป็นลำดับ ช่องว่างทางองค์ความรู้ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในบริบทของการขนส่งวัตถุอันตราย ซึ่งความรุนแรงของอุบัติเหตุมีผลกระทบในวงกว้าง ในเชิงทฤษฎี แนวคิดปัจจัยมนุษย์ (Human Factors Theory) อธิบายว่าพฤติกรรมและสภาวะของผู้ขับขี่ เช่น ความเหนื่อยล้า ความเครียด และความสนใจ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อความปลอดภัยในการขับขี่ โดยความผิดพลาดของมนุษย์ถือเป็นสาเหตุหลักของอุบัติเหตุบนท้องถนน [4-6] ขณะเดียวกัน แนวคิดการถ่ายทอดความเสี่ยง (Risk Propagation Concept) อธิบายว่าความเสี่ยงไม่ได้เกิดขึ้นแบบฉับพลัน แต่เป็นกระบวนการเชิงพลวัตที่เกิดจากการสะสมและการส่งผ่านระหว่างปัจจัยต่าง ๆ จากระดับต้นน้ำไปสู่ผลลัพธ์ปลายน้ำอย่างเป็นลำดับ [7, 8] เมื่อพิจารณาร่วมกับบริบทของเทคโนโลยีสมัยใหม่ ระบบ ADAS และ DMS สามารถทำหน้าที่เป็นกลไกในการตรวจจับและสะท้อนระดับความเสี่ยงแบบเรียลไทม์ โดยสัญญาณเตือน เช่น HMW, FCW และ PCW สามารถตีความได้ว่าเป็นตัวแทนของระดับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ขับขี่เชิงข้อมูล (data-driven risk modeling) ที่ชี้ให้เห็นว่าความเสี่ยงเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของหลายปัจจัยในลักษณะเชิงระบบ [9, 10] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (ADAS) ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ขับขี่กับระบบ (human-machine interaction) ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองต่อสัญญาณเตือน งานวิจัยพบว่า การพึ่งพาระบบมากเกินไป (over-reliance) หรือการใช้งานที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงในรูปแบบใหม่ได้ [11] ในบริบทนี้ ADAS จึงไม่ได้ถูกพิจารณาเพียงในฐานะเครื่องมือช่วยลดอุบัติเหตุ แต่สามารถตีความเป็น “ระบบตรวจจับและสะท้อนระดับความเสี่ยงเชิงพลวัต” (dynamic risk sensing system) ซึ่งสะท้อนระดับความเสี่ยงผ่านลำดับของสัญญาณเตือน ได้แก่ การเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (HMW) การเตือนก่อนการชน (FCW) และการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (PCW) ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มระดับของความเสี่ยงอย่างเป็นลำดับ

ในขณะเดียวกัน ระบบตรวจจับพฤติกรรมผู้ขับขี่ (Driver Monitoring Systems: DMS) มีบทบาทสำคัญในการประเมิน “สภาวะของผู้ขับขี่” (driver state) ผ่านข้อมูลเชิงพฤติกรรมและสรีรวิทยาแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ เช่น กล้องอินฟราเรด เรดาร์ และเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรม เช่น ความเหนื่อยล้า การละสายตา และการเสียสมาธิ [12] งานวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบ DMS สามารถตรวจจับตัวชี้วัดที่สะท้อนระดับความตื่นตัวและความสนใจของผู้ขับขี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงจาก human error ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของอุบัติเหตุ

บนท้องถนน [3] นอกจากนี้ ทฤษฎีพฤติกรรมผู้ขับขี่และการตรวจจับพฤติกรรมเสี่ยง (Risky Driving Behavior Theory) อธิบายว่าพฤติกรรมที่ขับขี่ที่ไม่ปลอดภัยเกิดจากปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยด้านมนุษย์ สภาพแวดล้อม และบริบทของการขับขี่ โดยปัจจัยด้านมนุษย์ เช่น ความเหนื่อยล้า ความเครียด และภาระทางปัญญา มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความน่าจะเป็นของพฤติกรรมเสี่ยง เช่น การขับรถใกล้คันหน้าเกินไป และการตอบสนองต่อเหตุการณ์ล่าช้า [13] แนวคิดดังกล่าวได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยที่ใช้ข้อมูลจากระบบ ADAS และ DMS ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำข้อมูลเหตุการณ์มาใช้ในการตรวจจับพฤติกรรมเสี่ยงและพัฒนาแบบจำลองการคาดการณ์ความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [14] เมื่อบูรณาการแนวคิดดังกล่าวเข้าด้วยกัน ความเสี่ยงในการขับขี่สามารถอธิบายในลักษณะของกระบวนการเชิงลำดับ (risk escalation process) ซึ่งเริ่มต้นจากสภาพของผู้ขับขี่ และพัฒนาไปสู่พฤติกรรมที่ขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย ก่อนจะสะท้อนผ่านสัญญาณเตือนจากระบบ ADAS ในระดับที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โครงสร้างดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของการถ่ายทอดความเสี่ยงเชิงลำดับ (sequential risk propagation) และเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาแบบจำลองเชิงโครงสร้างของการศึกษานี้เพื่อให้ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาสะท้อนบริบทการขนส่งที่ถูกต้องและจริง งานวิจัยนี้เลือกใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบจำนวน 10 คัน ซึ่งได้รับการติดตั้งระบบ DMS และ ADAS อย่างสมบูรณ์ และมีการปฏิบัติงานขนส่งจริงอย่างต่อเนื่อง การเลือกกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวเป็นการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลเหตุการณ์ด้านความปลอดภัยที่เกิดขึ้นจริงจากการปฏิบัติงานภาคสนามได้อย่างต่อเนื่องและมีคุณภาพ โดยกำหนดให้รถทุกคันมีระยะทางการเก็บข้อมูลเท่ากันที่ 1,000 กิโลเมตร เพื่อควบคุมความแตกต่างด้านระยะทางการเดินทางและลดอคติที่อาจเกิดขึ้นจากปริมาณการใช้งานที่ไม่เท่ากัน ส่งผลให้ได้ข้อมูลครอบคลุมระยะทางรวม 10,000 กิโลเมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์รูปแบบเหตุการณ์และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายใต้สภาพการใช้งานจริง เส้นทางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลครอบคลุมเส้นทางขนส่งวัตถุดิบจริง ซึ่งประกอบด้วยทางหลวงสายหลักระหว่างจังหวัด พื้นที่อุตสาหกรรม และเส้นทางเชื่อมต่อคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า โดยมีลักษณะทางกายภาพและสภาพการจราจรที่หลากหลาย ทั้งช่วงการเดินทางระยะไกล การจราจรหนาแน่น และพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ การเลือกพื้นที่ศึกษาในลักษณะดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ข้อมูลที่รวบรวมได้สามารถสะท้อนพฤติกรรมที่ขับขี่และเหตุการณ์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นภายใต้สภาพการดำเนินงานจริงของการขนส่งวัตถุดิบ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงสาเหตุที่พัฒนาขึ้นในการอธิบายกลไกการถ่ายทอดความเสี่ยงเชิงพฤติกรรมในบริบทการขนส่งจริง

ภายใต้กรอบแนวคิดดังกล่าว ความเสี่ยงในการขับขี่สามารถอธิบายในลักษณะของโครงสร้างเชิงลำดับ (sequential risk structure) ซึ่งเริ่มต้นจากสภาพของผู้ขับขี่ (Driver State Warning: DSW) และพัฒนาไปสู่พฤติกรรมที่ขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งแสดงผ่านการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (Headway Monitoring Warning: HMW) จากนั้นความเสี่ยงจะเพิ่มระดับไปสู่การเตือนก่อนการชน (Forward Collision Warning: FCW) และสุดท้ายไปสู่ความเสี่ยงของการชนในระดับสูง ซึ่งแสดงผ่านการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (Pedestrian Collision Warning: PCW) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้ขับขี่ภายใต้ระบบ ADAS และการประเมินความเสี่ยงเชิงพลวัตในระบบยานยนต์อัจฉริยะ [15] ซึ่งแสดงผ่านการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (Pedestrian Collision Warning: PCW) เพื่อตอบสนองต่อช่องว่างทางองค์ความรู้ดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงลำดับของปัจจัยความเสี่ยงเชิงพฤติกรรม โดยใช้ข้อมูลการขับขี่จริงจากการทดลองภาคสนามบนรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งมีการติดตั้งระบบ DMS และ ADAS โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง DSW, HMW, FCW และ PCW เพื่อพัฒนาแบบจำลองการถ่ายทอดความเสี่ยงเชิงลำดับ (Sequential Risk Propagation Model) และสนับสนุนการพัฒนาแบบประเมินความเสี่ยงเชิงข้อมูลสำหรับการขนส่งวัตถุดิบในบริบทจริง กรอบแนวคิดการวิจัยของการศึกษานี้

แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งสะท้อนโครงสร้างความสัมพันธ์เชิงลำดับของตัวแปรภายใต้แนวคิดการถ่ายทอดความเสี่ยง โดยมีสมมติฐานการวิจัยดังนี้

H1: สภาพของผู้ขับขี่ (DSW) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (HMW)

H2: การเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (HMW) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อการเตือนก่อนการชน (FCW)

H3: การเตือนก่อนการชน (FCW) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (PCW)



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยของการศึกษา

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์และอิทธิพลของ DSW ต่อ HMW
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์และอิทธิพลของ HMW ต่อ FCW
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์และอิทธิพลของ FCW ต่อ PCW
4. เพื่อพัฒนาโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยเสี่ยงเชิงพฤติกรรมในการขนส่งวัตถุอันตราย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้การทดลองภาคสนาม (Field Experiment) ภายใต้สภาพการใช้งานจริง (Naturalistic Driving Conditions) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงลำดับของปัจจัยความเสี่ยงเชิงพฤติกรรมในการขนส่งวัตถุอันตราย ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลเชิงเหตุการณ์ (Event-Based Data) ที่เก็บรวบรวมในช่วงวันที่ 1-31 มีนาคม พ.ศ. 2569 จากระบบรถทุกขนาดใหญ่อานวน 10 คัน ที่ใช้ในการขนส่งวัตถุอันตรายประเภทน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ภายใต้สภาพการปฏิบัติงานจริง โดยกำหนดระยะทางการเก็บข้อมูลคันละ 1,000 กิโลเมตร รวมระยะทางสะสมทั้งสิ้น 10,000 กิโลเมตร ข้อมูลการขับขี่ถูกเก็บรวบรวมผ่านระบบ Mobile DVR รุ่น Smart Eye Pro ซึ่งเป็นระบบบูรณาการระหว่างระบบตรวจจับพฤติกรรมผู้ขับขี่ (Driver Monitoring System: DMS) และระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (Advanced Driver Assistance System: ADAS) โดยระบบ DMS ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับกล้องอินฟราเรดในการตรวจจับสถานะของผู้ขับขี่ เช่น การง่วงนอน (Drowsiness Warning) การหาว (Yawn Warning) และการละสายตาจากเส้นทาง (Distracted Driving Warning: DDW) ซึ่งถูกนำมาประมวลผลเป็นตัวแปร Driver State Warning (DSW) ขณะที่ระบบ ADAS ใช้กล้องวิเคราะห์ภาพด้านหน้ารถเพื่อตรวจจับเหตุการณ์ด้านความปลอดภัย ได้แก่ การเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (Headway Monitoring Warning: HMW) การเตือนก่อนการชน (Forward Collision Warning: FCW) และการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (Pedestrian Collision Warning: PCW) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

การวิจัยมุ่งเน้นการวิเคราะห์กลไกการถ่ายทอดความเสี่ยงในลักษณะเชิงลำดับ (Sequential Risk Propagation Mechanism) โดยกำหนดกรอบแนวคิดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร DSW, HMW, FCW และ PCW ข้อมูลที่เก็บรวบรวมถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS Version 26 โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบายลักษณะ

การกระจายของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) เพื่อประเมินรูปแบบการกระจายของตัวแปร จากนั้นใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's Rank Correlation) เนื่องจากข้อมูลเหตุการณ์จากระบบ DMS และ ADAS มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นไม่บ่อย (Rare Events) ส่งผลให้ตัวแปรบางตัวมีการกระจายแบบไม่ปกติและมีค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) ในระดับสูง ดังนั้น การศึกษาจึงเลือกใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's Rank Correlation) ซึ่งไม่อาศัยสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ผู้วิจัยใช้เพื่อประเมินความสัมพันธ์เชิงทิศทางระหว่างตัวแปรตามกรอบแนวคิดการวิจัย และได้ตรวจสอบความสอดคล้องของผลลัพธ์ร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ ไม่มีการแปลงข้อมูล (Data Transformation) เนื่องจากต้องการคงลักษณะของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงจากระบบตรวจจับความปลอดภัย และเพื่อให้ผลการวิเคราะห์สะท้อนสภาพการดำเนินงานจริงมากที่สุด และใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงทิศทางระหว่างตัวแปรในแบบจำลอง โดยรายงานค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (β) ค่า p-value และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) ซึ่งใช้ในการประเมินสัดส่วนความแปรปรวนของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระในแต่ละสมการ

1. กลุ่มตัวอย่างและการเก็บข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างของการศึกษานี้ประกอบด้วยรถบรรทุกขนาดใหญ่จำนวน 10 คันที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบ โดยแต่ละคันดำเนินการขับขี่ภายใต้สภาพการใช้งานจริง (naturalistic driving conditions) โดยเก็บข้อมูลระยะทาง⁽¹⁾มาตรฐาน 1,000 กิโลเมตรต่อคัน การกำหนดระยะทางการวิ่งให้เท่ากันในทุกคัน (equal exposure design) ช่วยให้ข้อมูลมีความสมดุล (balanced dataset) และลดความเอนเอียงจากความแตกต่างของระยะทางระหว่างยานพาหนะ ส่งผลให้สามารถเปรียบเทียบความถี่ของเหตุการณ์เตือนด้านความปลอดภัยระหว่างรถแต่ละคันได้อย่างมีนัยสำคัญเชิงวิเคราะห์ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมเป็นข้อมูลเชิงเหตุการณ์ (event-based data) ซึ่งได้จากระบบตรวจจับพฤติกรรมผู้ขับขี่ (DMS) และระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (ADAS) โดยครอบคลุมเหตุการณ์สำคัญ ได้แก่ การเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (HMW) การเตือนก่อนการชน (FCW) และการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (PCW) รวมถึงข้อมูลสภาพผู้ขับขี่ (DSW) ซึ่งถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงลำดับของความถี่ตามกรอบแบบจำลองการวิจัย โดยกำหนดให้ค่าระยะทางของแต่ละยานพาหนะสามารถนิยามในรูปสมการได้ดังนี้

$$d_i = 1,000 \text{ km}; i = 1, 2, \dots, 10 \quad (1)$$

โดยที่ d_i แทนระยะทางของยานพาหนะคันที่ i

ดังนั้น ระยะทางสะสมรวมของการเก็บข้อมูลสามารถแสดงได้ดังนี้

$$D_{total} = \sum_{i=1}^{10} d_i = 10,000 \text{ km} \quad (2)$$

การออกแบบดังกล่าวช่วยให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างยานพาหนะได้อย่างเป็นธรรม และลดความเอนเอียงจากความแตกต่างของระยะทางในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเหตุการณ์

2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา (Variables)

การวิจัยนี้กำหนดตัวแปรภายใต้กรอบแนวคิดเชิงลำดับของความเสียหาย (sequential risk propagation framework) โดยจัดโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรตามลำดับเหตุ-ผลอย่างเป็นระบบ ประกอบด้วย ตัวแปรอิสระ ได้แก่ สภาพของผู้ขับขี่ (Driver State Warning: DSW) ซึ่งสะท้อนระดับความพร้อมและความเสี่ยงเชิงพฤติกรรมของผู้ขับขี่ ตัวแปรกึ่งกลาง (mediating variables) ได้แก่ พฤติกรรมการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัยซึ่งแสดงผ่านการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (Headway Monitoring Warning: HMW) และสัญญาณเตือนการชนล่วงหน้า (Forward Collision Warning: FCW) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแทนของการเพิ่มระดับความเสี่ยงในระหว่างกระบวนการ และตัวแปรตาม ได้แก่ ความเสี่ยงของการชนในระดับสูง ซึ่งแสดงผ่านการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (Pedestrian Collision Warning: PCW) โดยตัวแปรทั้งหมดถูกนิยามในลักษณะของข้อมูลเชิงเหตุการณ์ (event-based indicators) ที่ได้จากระบบ ADAS และ DMS ในสภาพการขับขี่จริง ทำให้สามารถสะท้อนพลวัตของความเสียหายและตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงลำดับของตัวแปรได้อย่างเป็นรูปธรรมในบริบทของการชนส่งวัตถุนัตถาย

3. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

3.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)

การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ถูกนำมาใช้ในขั้นต้นเพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐานและรูปแบบการกระจายของตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งประกอบด้วยสภาพของผู้ขับขี่ (DSW) พฤติกรรมการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย (HMW) สัญญาณเตือนการชนล่วงหน้า (FCW) และความเสี่ยงของการชนในระดับสูง (PCW) โดยค่าสถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อสะท้อนแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและความแปรปรวนของข้อมูล รวมถึงค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) เพื่อประเมินลักษณะการกระจายของข้อมูลและตรวจสอบความเป็นปกติของตัวแปร ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวแปรส่วนใหญ่มีการกระจายแบบไม่เป็นปกติ โดยมีค่าความเบ้เชิงบวกและค่าความโด่งในระดับสูง ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะของข้อมูลเชิงเหตุการณ์ที่มีการเกิดเหตุการณ์ความเสี่ยงในระดับสูงแบบเป็นช่วง (sporadic high-risk events) และมีการกระจุกตัวของเหตุการณ์ในบางช่วงเวลา ลักษณะดังกล่าวมีความสอดคล้องกับบริบทของข้อมูลการขับขี่จริง (real-world driving data) และเป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ (non-parametric methods) ในขั้นตอนถัดไปของการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเหมาะสม

3.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการโดยใช้สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation) เนื่องจากตัวแปรมีลักษณะการกระจายแบบไม่เป็นปกติและเป็นข้อมูลเชิงเหตุการณ์ (event-based data) ที่มีความเบ้และความโด่งในระดับสูง วิธีการดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการประเมินความสัมพันธ์เชิงอันดับ (monotonic relationship) ระหว่างตัวแปรโดยไม่ต้องอาศัยสมมติฐานการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ครอบคลุมความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักในแบบจำลอง ได้แก่ สภาพของผู้ขับขี่ (DSW) พฤติกรรมการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย (HMW) สัญญาณเตือนการชนล่วงหน้า (FCW) และความเสี่ยงของการชนในระดับสูง (PCW) ผลการวิเคราะห์รายงานในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) และระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) เพื่อประเมินทั้งทิศทางและความแข็งแกร่งของความสัมพันธ์ โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตัวแปรในแต่ละลำดับ ซึ่งสนับสนุนแนวคิดของโครงสร้างความเสี่ยงเชิงลำดับ (sequential risk structure) ที่ความเสี่ยงมีการถ่ายทอดและเพิ่มระดับอย่างต่อเนื่องจากพฤติกรรมผู้ขับขี่ไปสู่ความเสี่ยงของการชนในระดับที่สูงขึ้นอย่างเป็นระบบ

3.3 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ในการศึกษาที่ใช้การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) ภายใต้กรอบการวิเคราะห์แบบลำดับขั้น (sequential regression modeling) เพื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงทิศทางระหว่างตัวแปรตามลำดับของแบบจำลองการถดถอยความเสี่ยงเชิงลำดับ โดยกำหนดให้สภาพของผู้ขับขี่ (DSW) เป็นตัวแปรอิสระที่ใช้อธิบายพฤติกรรมการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัยซึ่งแสดงผ่านการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (HMW) ในขั้นแรก จากนั้นพฤติกรรมการขับขี่ดังกล่าวถูกใช้เป็นตัวแปรอิสระในการอธิบายสัญญาณเตือนการชนล่วงหน้า (FCW) ในขั้นถัดไป และในขั้นสุดท้าย สัญญาณเตือนการชนล่วงหน้าถูกใช้ในการอธิบายความเสี่ยงของการชนในระดับสูง ซึ่งแสดงผ่านการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (PCW) โดยรายงานค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมาตรฐาน (β) ค่า p-value และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) เพื่อประเมินทั้งทิศทาง ความมีนัยสำคัญทางสถิติ และความสามารถของแบบจำลองในการอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามในแต่ละขั้น ทั้งนี้ การวิเคราะห์มุ่งเน้นการตรวจสอบความต่อเนื่องของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในแต่ละระดับ เพื่อยืนยันว่ากลไกการเพิ่มระดับของความเสี่ยงมีลักษณะเป็นกระบวนการเชิงลำดับอย่างเป็นระบบในบริบทของการชนส่งวัตถุนัตถาย

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา

ตารางที่ 1 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรด้านพฤติกรรมการขับขี่และความเสี่ยงจากระบบ ADAS และ DMS

Variable	Mean	Median	SD	IQR	Skewness	Kurtosis
HMW	143.1	52	246.64	134	2.803	8.267
FCW	9.4	4	19.07	7	3.019	9.334
PCW	29.9	13	54.55	12	3.076	9.602
DDW	107.2	77.5	88.55	111	1.641	3.244
DSW	0.1	0	0.316	0	3.162	10
Yawn	2.8	2	3.23	3	2.113	5.104
Drowsiness	1.3	0	2.21	3	1.447	0.837

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาแสดงให้เห็นว่าตัวแปรส่วนใหญ่มีลักษณะการกระจายแบบไม่เป็นปกติ (non-normal distribution) โดยมีค่าความเบ้เชิงบวกในระดับสูง (Skewness > 1) ในตัวแปรส่วนใหญ่ ซึ่งสะท้อนว่าการกระจายของข้อมูลมีค่ามากกระจุกตัวอยู่ทางด้านขวา โดยเฉพาะตัวแปร HMW (Skewness = 2.803), FCW (Skewness = 3.019) และ PCW (Skewness = 3.076) ที่มีค่าความเบ้สูงกว่า 2 อย่างชัดเจน แสดงถึงการเกิดเหตุการณ์ค่ามากในลักษณะไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ ค่าความโด่ง (Kurtosis) ของตัวแปร HMW (8.267), FCW (9.334) และ PCW (9.602) มีค่าสูงกว่า 8 ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะของข้อมูลที่มีหางหนา (heavy-tailed distribution) และมีการกระจุกตัวของเหตุการณ์ความเสี่ยงในบางช่วงเวลา ขณะที่ตัวแปร DDW มีค่าความเบ้และความโด่งในระดับปานกลาง (Skewness = 1.641, Kurtosis = 3.244) แสดงถึงการกระจายของข้อมูลที่มีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่นเมื่อพิจารณาค่าพิสัยระหว่างควอไทล์

(Interquartile Range: IQR) พบว่าตัวแปร HMW (IQR = 134) และ DDW (IQR = 111) มีความแปรปรวนของข้อมูลในระดับสูง ซึ่งสะท้อนถึงความผันผวนของพฤติกรรมรถขับขี่ในสภาพการใช้งานจริง ขณะที่ตัวแปร DSW มีค่า IQR เท่ากับ 0 และค่ามัธยฐานเท่ากับ 0 แสดงให้เห็นว่าเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นไม่บ่อย แต่มีความสำคัญในฐานะตัวชี้วัดความเสี่ยงเชิงพฤติกรรมในระดับต้นน้ำโดยรวม ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวยืนยันว่าข้อมูลมีลักษณะการกระจายแบบไม่เป็นปกติอย่างชัดเจน และมีลักษณะการเกิดเหตุการณ์ในรูปแบบไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับธรรมชาติของข้อมูลเชิงเหตุการณ์จากระบบ ADAS และ DMS และสนับสนุนการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติแบบไม่อาศัยพารามิเตอร์ในขั้นตอนถัดไปของการศึกษา

2. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนระหว่างตัวแปรความเสี่ยงจากระบบ ADAS และ DMS

Variable Pair	ρ (rho)	p-value
HMW and FCW	0.656	0.039
FCW and PCW	0.636	0.048

Note: ρ = Spearman's coefficient; $p < 0.05$ indicates significance.

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างตัวแปรในแบบจำลอง โดยพบว่าการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (HMW) มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับการเตือนก่อนการชน (FCW) ในระดับค่อนข้างสูง ($\rho = 0.656$, $p = 0.039$) นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเตือนก่อนการชน (FCW) และการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (PCW) ($\rho = 0.636$, $p = 0.048$) ซึ่งสะท้อนถึงความเชื่อมโยงของตัวชี้วัดความเสี่ยงในระดับกลางไปสู่ตัวชี้วัดความเสี่ยงในระดับที่สูงขึ้น โดยรวม ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสนับสนุนแนวคิดของโครงสร้างความเสี่ยงเชิงลำดับ (sequential risk structure) ซึ่งตัวแปรในแต่ละระดับมีความสัมพันธ์กันในลักษณะต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ที่พบเป็นเพียงความสัมพันธ์เชิงสถิติ (association) และไม่สามารถตีความเป็นความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (causality) ได้โดยตรง

3. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นของแบบจำลองการถ่ายทอดความเสี่ยงเชิงลำดับ

Model	Path	β	t-value	p-value	R ²
Model 1	DSW $\rightarrow$ HMW	0.967	10.763	<0.001	0.935
Model 2	HMW $\rightarrow$ FCW	0.971	11.439	<0.001	0.942
Model 3	FCW $\rightarrow$ PCW	0.972	11.79	<0.001	0.946

Note: β = standardized regression coefficient; R² = coefficient of determination.

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพบว่า DSW มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ HMW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\beta = 0.967$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.935$) แสดงให้เห็นว่าสภาพของผู้ขับขี่ที่สามารถอธิบายความแปรปรวนของการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้าได้ร้อยละ 93.5 สะท้อนให้เห็นว่าสถานะของผู้ขับขี่ เช่น ความง่วงนอน การหาว และการละสายตาจากเส้นทาง มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับพฤติกรรมการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย นอกจากนี้ HMW มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ FCW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\beta = 0.971$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.942$) โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนของการเตือนก่อนการชนได้ร้อยละ 94.2 แสดงให้เห็นว่าการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้าในระดับที่ไม่ปลอดภัยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเสี่ยงของการเกิดเหตุการณ์เฉียดการชนด้านหน้า และ FCW มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ PCW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\beta = 0.972$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.946$) โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนของการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวางได้ร้อยละ 94.6 สะท้อนให้เห็นว่าความเสี่ยงจากเหตุการณ์เฉียดการชนด้านหน้ามีแนวโน้มพัฒนาไปสู่ความเสี่ยงของการชนในระดับที่สูงขึ้นตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนแนวคิดการถ่ายทอดความเสี่ยงเชิงลำดับ (Sequential Risk Propagation) ซึ่งอธิบายว่าความเสี่ยงไม่ได้เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน แต่มีการพัฒนาและส่งต่อระหว่างปัจจัยความเสี่ยงในแต่ละระดับอย่างต่อเนื่อง

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาทำให้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่สำคัญเกี่ยวกับโครงสร้างความเสี่ยงเชิงลำดับ (sequential risk propagation) ในบริบทของการขนส่งวัตถุอันตราย โดยพบว่าความเสี่ยงไม่ได้เกิดขึ้นแบบฉับพลัน แต่เป็นกระบวนการที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องจากสภาพของผู้ขับขี่ไปสู่พฤติกรรมการขับขี่ และนำไปสู่ความเสี่ยงของการชนในระดับที่สูงขึ้นตามลำดับ ผลลัพธ์ดังกล่าวมีความสอดคล้องกับกรอบแนวคิดด้านปัจจัยมนุษย์ (Human Factors) ซึ่งอธิบายว่าสภาพของผู้ขับขี่ เช่น ความเหนื่อยล้าและการลดลงของความตื่นตัว สามารถส่งผลต่อพฤติกรรมการขับขี่และเพิ่มโอกาสในการเกิดเหตุการณ์เสี่ยงได้ ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอยแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างตัวแปรในแต่ละระดับของแบบจำลอง กล่าวคือ สภาพของผู้ขับขี่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งสะท้อนผ่านการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า ขณะเดียวกัน พฤติกรรมการขับขี่ดังกล่าวมีความเชื่อมโยงต่อเนื่องไปยังการเตือนก่อนการชน และนำไปสู่ความเสี่ยงของการชนในระดับที่รุนแรงขึ้น ผลลัพธ์นี้สะท้อนถึงกระบวนการเพิ่มระดับของความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ และสอดคล้องกับแนวคิดของการถ่ายทอดความเสี่ยง (risk propagation) ที่มองว่าความเสี่ยงเป็นกระบวนการที่พัฒนาและส่งต่อระหว่างตัวแปรในลักษณะเชิงพลวัต ในมุมมองของเทคโนโลยี ระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่ขั้นสูง (ADAS) และระบบตรวจจับพฤติกรรมผู้ขับขี่ (DMS) สามารถทำหน้าที่เป็นกลไกในการตรวจจับและสะท้อนระดับของความเสี่ยงในแต่ละช่วงของกระบวนการ โดยเหตุการณ์เตือนในแต่ละประเภท เช่น การเตือนการเว้นระยะห่าง การเตือนก่อนการชน และการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง สามารถตีความได้ว่าเป็นตัวชี้วัดของระดับความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยด้าน Driver Monitoring Systems (DMS) และ Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) หลายฉบับที่รายงานว่าความเหนื่อยล้า การละสายตาจากเส้นทาง และการเสียสมาธิของผู้ขับขี่ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรับรู้สถานการณ์และการตัดสินใจขณะขับขี่ งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าพฤติกรรมดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการลดระยะห่างที่ปลอดภัย การตอบสนองต่อเหตุการณ์ล่าช้า และการเพิ่มโอกาสเกิดเหตุการณ์เฉียดการชน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าสภาพของผู้ขับขี่ (DSW) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการเตือนการเว้นระยะห่างจากรถคันหน้า (HMW) และส่งผลกระทบต่อแจ้งเตือนก่อนการชน (FCW) และการเตือนการชนกับคนหรือสิ่งกีดขวาง (PCW) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบย่อยของตัวแปร Driver State Warning (DSW) พบว่าประกอบด้วยเหตุการณ์การละสายตาจากเส้นทาง (Distracted Driving Warning: DDW) การหาว (Yawn Warning) และการง่วงนอน (Drowsiness

Warning) ซึ่งล้วนเป็นตัวบ่งชี้สำคัญของการลดลงของระดับความตื่นตัวของผู้ขับขี่ โดยเฉพาะการรบกวนและการหาที่หลับ การยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นสัญญาณเริ่มต้นของความเหนื่อยล้าขณะขับขี่ ขณะที่การละสายตาจากเส้นทางสะท้อนถึงภาวะเสียสมาธิหรือภาระทางปัญญาที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สนับสนุนแนวคิดที่ว่าปัจจัยเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการเพิ่มระดับความเสี่ยง และสามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดเชิงรุกในการเฝ้าระวังความปลอดภัยก่อนที่จะมีความเสี่ยงจะพัฒนาไปสู่เหตุการณ์ด้านการชนในระดับที่รุนแรงยิ่งขึ้น การตีความในลักษณะนี้ช่วยขยายบทบาทของ ADAS จากเครื่องมือป้องกันอุบัติเหตุไปสู่การเป็นระบบติดตามและวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงโครงสร้าง

อีกประเด็นสำคัญคือค่าความสามารถในการอธิบายของแบบจำลอง (R^2) ที่อยู่ในระดับสูงในทุกสมการ ซึ่งสะท้อนถึงความเชื่อมโยงของตัวแปรในแบบจำลองอย่างใกล้ชิด ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากลักษณะของข้อมูลที่เป็นข้อมูลเชิงเหตุการณ์ (event-based data) ที่ได้จากระบบตรวจจับเดียวกันภายใต้บริบทการขับขี่จริง ประกอบกับการออกแบบการเก็บข้อมูลแบบระยะทางเท่ากันในทุกยานพาหนะ ซึ่งช่วยลดความแปรปรวนจากปัจจัยภายนอกและทำให้ข้อมูลมีความสม่ำเสมอมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่า R^2 ที่สูงควรได้รับการตีความอย่างระมัดระวัง เนื่องจากอาจสะท้อนทั้งความสัมพันธ์เชิงพฤติกรรมที่แท้จริงและลักษณะของแหล่งข้อมูลที่ใช้ร่วมกันในเชิงปฏิบัติ ผลการศึกษานี้มีนัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบบริหารความปลอดภัยในการขนส่งวัตถุอันตราย โดยสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบติดตามความเสี่ยงแบบลำดับขั้น ซึ่งช่วยให้สามารถระบุและจัดการความเสี่ยงตั้งแต่ระยะเริ่มต้นก่อนที่จะพัฒนาไปสู่เหตุการณ์ที่รุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้แบบจำลองดังกล่าวยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบเตือนภัยอัจฉริยะ การวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ และการกำหนดมาตรการป้องกันเชิงรุกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสรุป ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงสาเหตุเบื้องต้นของปัจจัยเสี่ยงเชิงพฤติกรรมในการขนส่งวัตถุอันตราย ภายใต้กรอบแนวคิดการถ่ายทอดความเสี่ยงเชิงลำดับ ซึ่งอธิบายว่าความเสี่ยงเริ่มต้นจากสถานะของผู้ขับขี่ ก่อนจะพัฒนาไปสู่พฤติกรรมขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย และเพิ่มระดับเป็นความเสี่ยงของการชนในลำดับถัดไป แม้ว่าการศึกษานี้จะใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบลำดับขั้นในการอธิบายความสัมพันธ์เชิงทิศทางระหว่างตัวแปร แต่ผลลัพธ์ที่ได้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของข้อมูลจากระบบ ADAS และ DMS ในการใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและระบบบริหารความเสี่ยงเชิงรุกในการขนส่งวัตถุอันตรายในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษานี้ใช้กลุ่มตัวอย่างรถบรรทุกขนาดใหญ่จำนวน 10 คัน ซึ่งแม้จะครอบคลุมผู้ประกอบการหลายรายและการขนส่งวัตถุอันตรายหลายประเภท แต่อาจมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการสรุปผลไปยังประชากรยานพาหนะทั้งหมด ดังนั้น การวิจัยในอนาคตควรเพิ่มขนาดกลุ่มตัวอย่าง และขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมประเภทยานพาหนะ เส้นทางขนส่ง และประเภทวัตถุอันตรายที่หลากหลายมากขึ้น

2. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลเชิงเหตุการณ์จากระบบ DMS และ ADAS ซึ่งเป็นระบบตรวจจับที่ทำงานร่วมกัน อาจส่งผลให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในระดับสูง ดังนั้น การวิจัยในอนาคตควรบูรณาการข้อมูลจากแหล่งอื่นเพิ่มเติม เช่น ข้อมูลอุบัติเหตุ ข้อมูลสภาพถนน ข้อมูลสภาพอากาศ หรือข้อมูลจากระบบ GPS Tracking เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของแบบจำลองและลดข้อจำกัดจากการใช้ข้อมูลจากแหล่งเดียว

3. แม้ว่าผลการศึกษานี้จะสนับสนุนแนวคิดการถ่ายทอดความเสี่ยงเชิงลำดับ (Sequential Risk Propagation) แต่การวิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปร จึงยังไม่สามารถยืนยันความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลได้โดยตรง ดังนั้น ควรมีการพัฒนาแบบจำลองสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling: SEM) เพื่อยืนยันโครงสร้างเชิงสาเหตุของปัจจัยความเสี่ยงได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

4. ควรพัฒนาแบบจำลองสมการโครงสร้าง (SEM) โดยบูรณาการผลการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับกรอบ Dangerous Goods Transport Safety Model (DGTSM) ซึ่งประกอบด้วย 4 มิติหลัก ได้แก่ Regulatory Compliance and Traffic Safety (RCTS), Vehicle Maintenance and Control Systems (VMCS), Road Environment and Infrastructure (REI) และ Fatigue Management and Driver Behavior (FMDB) โดยกำหนดให้ตัวแปร Driver State Warning (DSW), Headway Monitoring Warning (HMW), Forward Collision Warning (FCW) และ Pedestrian Collision Warning (PCW) เป็นตัวชี้วัดภายใต้มิติ FMDB เพื่อยกระดับการวิเคราะห์จากความสัมพันธ์เชิงพฤติกรรมไปสู่การอธิบายโครงสร้างความปลอดภัยของการขนส่งวัตถุอันตรายในภาพรวม

5. เนื่องจากการเก็บข้อมูลดำเนินการภายใต้สภาพการใช้งานจริงในช่วงเวลาและพื้นที่ศึกษาที่กำหนด การวิจัยในอนาคตควรขยายการศึกษาให้ครอบคลุมสภาพถนน สภาพจราจร และสภาพแวดล้อมที่หลากหลายมากขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในบริบทที่แตกต่างกัน

6. ในเชิงปฏิบัติ ผู้ประกอบการขนส่งวัตถุอันตรายควรนำข้อมูลจากระบบ Driver Monitoring System (DMS) และ Advanced Driver Assistance System (ADAS) มาใช้เป็นเครื่องมือเฝ้าระวังความเสี่ยงเชิงรุก โดยเฉพาะข้อมูลการรบกวน การหวาด การละสายตาจากเส้นทาง และเหตุการณ์เตือนด้านความปลอดภัย เช่น HMW, FCW และ PCW เพื่อสนับสนุนการติดตามพฤติกรรมผู้ขับขี่แบบเรียลไทม์ การคัดกรองผู้ขับขี่ที่มีความเสี่ยงสูง และการป้องกันอุบัติเหตุก่อนเกิดเหตุ

7. หน่วยงานกำกับดูแลและผู้ประกอบการควรนำผลการศึกษาไปใช้ในการกำหนดนโยบาย มาตรการด้านความปลอดภัย และการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมผู้ขับขี่ รวมถึงส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี DMS และ ADAS ร่วมกับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อพัฒนาระบบประเมินความเสี่ยงและระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบริหารจัดการความปลอดภัยในการขนส่งวัตถุอันตรายอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Costa, S. Innamaa, and F. Malin, "Safety impact of advanced driver assistance systems in Europe in 2030," *Journal of Safety Research*, vol. 95, pp. 290–300, Dec. 2025, doi: 10.1016/j.jsr.2025.10.008.
- [2] M. Aleksa, A. Schaub, I. Erdelean, S. Wittmann, A. Soteropoulos, and A. Furdös, "Impact analysis of Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) regarding road safety – computing reduction potentials," *European Transport Research Review*, vol. 16, art. no. 39, 2024, doi: 10.1186/s12544-024-00654-0.
- [3] N. Pumpugsri, W. Rattanawong, and V. Vongmanee, "Applying GIS Analytics and ADAS with DMS to Assessment Heavy-Duty Vehicles Unsafe Acts and Unsafe Conditions in Thailand," in *Proc. 2023 27th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, Chiang Rai, Thailand, Sept. 2023, pp. 434–439, doi: 10.1109/ICSEC59635.2023.10329638.
- [4] T. Garefalakis, E. Michelaraki, S. Roussou, M. Kourtesis, A. Chrysanthou, and C. Antoniou, "Predicting risky driving behavior with classification algorithms: Results from a large-scale field-trial and simulator experiment," *European Transport Research Review*, vol. 16, art. no. 65, 2024, doi: 10.1186/s12544-024-00691-9.

-
- [5] Y. Zhang, "Analysis of Psychological Factors Affecting Drivers' Driving Safety and Countermeasures," *Lecture Notes in Education, Arts, Management and Social Science*, vol. 3, no. 6, 2025, doi: 10.18063/lne.v3i6.1133.
 - [6] N. Vasta and F. Biondi, "Effect of Partially Automated Driving on Mental Workload, Visual Behavior and Engagement in Nondriving-Related Tasks: A Meta-Analysis," *Human Factors*, vol. 67, no. 9, pp. 962–991, Mar. 2025, doi: 10.1177/00187208251323132.
 - [7] N. Pumpugsri, W. Rattanawong, and V. Vongmanee, "Development of a Safety Heavy-Duty Vehicle Model Considering Unsafe Acts, Unsafe Conditions and Near-Miss Events Using Structural Equation Model," *Sustainability*, vol. 15, no. 16, art. no. 12150, 2023, doi: 10.3390/su151612150.
 - [8] N. Pumpugsri, W. Rattanawong, and V. Vongmanee, "Path Analysis Model of Heavy-Duty Vehicle Safety for Road Environment Improvement and Accidents Prevention," *Journal of Logistics and Supply Chain Operations (JLSCO)*, vol. 11, no. 1, pp. 121–138, 2025, doi:10.53848/jlsco.v11i1.271296.
 - [9] Y. Chen, Y. Xie, C. Wang, L. Yang, N. Zheng, and L. Wu, "Time-dependent effect of advanced driver assistance systems on driver behavior based on connected vehicle data," *Analytic Methods in Accident Research*, vol. 45, art. no. 100370, 2025, doi: 10.1016/j.amar.2025.100370.
 - [10] L. Ferreira, A. Valente, P. Salgado, et al., "Advances on risky driver behaviour detection in road vehicles: A systematic literature review," *Artificial Intelligence Review*, vol. 59, art. no. 93, 2026, doi: 10.1007/s10462-026-11492-y.
 - [11] F. N. Biondi and B. Balakumar, "Human factors of automated driving systems: A compendium of lessons learned," *International Journal of Human Factors and Ergonomics*, vol. 8, no. 2, pp. 183–194, 2021, doi: 10.1504/IJHFE.2021.116066.
 - [12] A. Rahman, F. Barber, M. Lovric, R. Woodman, and V. Donzella, "Driver Monitoring Systems: Advances, Challenges, and Future Directions in Noncontact Sensor Technologies: A Review," *IEEE Sensors Journal*, vol. 26, no. 3, pp. 3540–3557, Feb. 2026, doi: 10.1109/JSEN.2025.3646923.
 - [13] F. Chen and J. Terken, "Human Factors of Automated Driving," in *Automotive Interaction Design, Springer Tracts in Mechanical Engineering*, A. Riener and M. Jeon, Eds. Singapore: Springer, 2023, pp. 273–307, doi: 10.1007/978-981-19-3448-3_16.
 - [14] N. Pumpugsri, W. Rattanawong, and V. Vongmanee, "Using Telematics and AI Technology to Reduce Road Accidents for Heavy-Duty Vehicles," in *Proc. 2023 27th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, 2023, doi: 10.1109/ICSEC59635.2023.10329662.
 - [15] C. Yang, A. Agarwal, and P. Konana, "General Behavioral Impact of Smart System Warnings: A Case of Advanced Driving Assistance Systems," *Production and Operations Management*, vol. 34, no. 11, 2025, doi: 10.1177/10591478251336742.

อิทธิพลของการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการแอปพลิเคชันออนไลน์
ทางการแพทย์: บทบาทการส่งผ่านการยอมรับเทคโนโลยี และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม
ภายใต้กรอบแนวคิด STIMULUS–ORGANISM–RESPONSE
THE INFLUENCE OF PERCEIVED PLATFORM QUALITY ON THE DECISION TO
ADOPT ONLINE MEDICAL APPLICATION SERVICES: THE MEDIATING ROLES OF
TECHNOLOGY ACCEPTANCE AND PLATFORM TRUST WITHIN
THE STIMULUS–ORGANISM–RESPONSE FRAMEWORK

ชนะภพ อื้อเทียน¹, ณัฏพรจักษ์ จตุรัส^{2*}, ณัฏฐ์ จตุรัส³ และ วสันต์ กันอ้า⁴
Chanaphop Authian¹, Natnarong Jaturat^{2*}, Nutt Jaturat³, and Wasun Khan-am⁴

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี^{1,2,3,4}
Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Thanyaburi^{1,2,3,4}
Author email: chanapop_a@mail.rmutt.ac.th¹ natnarong@rmutt.ac.th² nutt_j@rmutt.ac.th³
wasun_k@rmutt.ac.th⁴

Received: April 1, 2026
Revised: June 17, 2026
Accepted: June 29, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มที่มีต่อการยอมรับเทคโนโลยี ความไว้วางใจ และการตัดสินใจเลือกใช้บริการแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ ตลอดจนศึกษาอิทธิพลและบทบาทการส่งผ่านของการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม ในความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มกับการตัดสินใจเลือกใช้บริการ ภายใต้กรอบแนวคิด Stimulus–Organism–Response (S-O-R) การวิจัยเป็นการวิจัยเชิงปริมาณในรูปแบบการสำรวจภาคตัดขวาง กลุ่มตัวอย่างคือผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร เคยใช้บริการจริงอย่างน้อย 1 ครั้ง จำนวน 400 คน คัดเลือกด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง เครื่องมือวิจัยคือแบบสอบถามมาตราส่วนลิเคิร์ต 7 ระดับ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน การวิเคราะห์ถดถอย และ Hayes PROCESS Macro Model 4 เพื่อทดสอบอิทธิพลทางตรงและอิทธิพลทางอ้อม ผลการวิจัยพบว่า การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มยังมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม ขณะที่ทั้งการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มต่างมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการเช่นกัน ผลการทดสอบอิทธิพลทางอ้อมพบว่า การยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มทำหน้าที่เป็นตัวแปรส่งผ่านบางส่วนในความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มกับการตัดสินใจเลือกใช้บริการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการศึกษานี้ช่วยยืนยันความเหมาะสมของกรอบแนวคิด S-O-R ในการอธิบายพฤติกรรมผู้ใช้บริการสุขภาพดิจิทัล และชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาแอปพลิเคชันทางการแพทย์ควรให้ความสำคัญทั้งต่อคุณภาพของแพลตฟอร์ม การส่งเสริมการยอมรับเทคโนโลยี และการสร้างความไว้วางใจ เพื่อเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้จะตัดสินใจเลือกใช้บริการจริง

คำสำคัญ: การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม, การยอมรับเทคโนโลยี, ความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม, การตัดสินใจเลือกใช้บริการ, แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์, S-O-R

Abstract

This research aimed to study the influence of perceived platform quality on technology acceptance, trust, and the decision to use online medical application services, as well as to examine the influence and mediating roles of technology acceptance and trust in the platform in the relationship between perceived platform quality and the decision to use the service under the Stimulus–Organism–Response (S-O-R) framework.

This study employed a quantitative research design using a cross-sectional survey. The sample consisted of 400 users of online medical applications residing in Bangkok who had actually used the service at least once. The participants were selected through purposive sampling. The research instrument was a seven-point Likert scale questionnaire, and the data were analyzed using confirmatory factor analysis, regression analysis, and Hayes PROCESS Macro Model 4 to test direct and indirect effects.

The research findings revealed that perceived platform quality had a statistically significant positive influence on the decision to use the service. In addition, perceived platform quality had a positive influence on technology acceptance and trust in the platform, while both technology acceptance and trust in the platform also had positive influences on the decision to use the service. The results of the indirect effect test indicated that technology acceptance and trust in the platform served as partial mediating variables in the relationship between perceived platform quality and the decision to use the service with statistical significance. The findings of this study confirm the appropriateness of the S-O-R framework in explaining the behavior of digital health service users and indicate that the development of online medical applications should emphasize platform quality, the promotion of technology acceptance, and the creation of trust in order to increase the likelihood that users will decide to actually use the service.

Keywords: perceived platform quality, technology acceptance, trust in the platform, decision to use the service, online medical application, S-O-R

บทนำ

เทคโนโลยีดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงระบบบริการสุขภาพอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการเกิดขึ้นของแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ซึ่งทำหน้าที่เป็นช่องทางเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้บริการกับผู้ให้บริการทางสุขภาพในรูปแบบที่รวดเร็ว ยืดหยุ่น และเข้าถึงได้สะดวกมากขึ้น [1], [2] แอปพลิเคชันดังกล่าวถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย เช่น การนัดหมายพบแพทย์ การปรึกษาแพทย์ทางไกล การติดตามอาการ การรับข้อมูลสุขภาพ การจัดการประวัติทางการแพทย์ ตลอดจนการเข้าถึงบริการสุขภาพเบื้องต้นในชีวิตประจำวัน [1], [2], [3] พัฒนาการนี้สะท้อนให้เห็นว่าแพลตฟอร์มดิจิทัลได้เป็นเพียงเครื่องมือทางเทคโนโลยี แต่ได้กลายเป็นองค์ประกอบสำคัญของประสบการณ์การรับบริการทางการแพทย์ร่วมสมัย [4]

อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเลือกใช้ออปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์มีความซับซ้อนมากกว่าการเลือกใช้อุปกรณ์ดิจิทัลทั่วไป เนื่องจากบริการทางการแพทย์เป็นบริการที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสุขภาพ ความปลอดภัย ข้อมูลส่วนบุคคล และความเสี่ยงที่ผู้ใช้รับรู้ได้สูง [1], [2] ผู้ใช้จึงมิได้ประเมินแอปพลิเคชันจากเพียงความสะดวกในการใช้งานหรือความเร็วของระบบเท่านั้น แต่ยังให้ความสำคัญกับความน่าเชื่อถือของข้อมูล ความปลอดภัยของระบบ ความมั่นใจในการรับบริการ ความเสถียรของแพลตฟอร์ม และความเชื่อมั่นว่าการใช้ออปพลิเคชันดังกล่าวจะนำไปสู่ผลลัพธ์ด้านสุขภาพที่เหมาะสม [1], [2], [4] ในบริบทนี้ การเข้าใจว่าผู้ใช้ตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ได้อย่างไร จึงเป็นประเด็นที่มีความสำคัญอย่างยิ่งทั้งในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ

งานวิจัยที่ผ่านมาได้อธิบายพฤติกรรมของผู้ใช้บริการดิจิทัลผ่านมุมมองที่หลากหลาย เช่น ด้านคุณภาพการบริการ ด้านคุณภาพของระบบ การยอมรับเทคโนโลยี และความไว้วางใจ [1], [2], [4] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในบริบทของแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ พบว่าปัจจัยเหล่านี้มีความเชื่อมโยงกันอย่างใกล้ชิดและไม่อาจอธิบายแบบแยกส่วนได้อย่างเพียงพอ กล่าวคือ ผู้ใช้อาจเริ่มต้นจากการรับรู้ว่าคุณภาพดี ใช้งานสะดวก ตอบสนองรวดเร็ว และมีความปลอดภัย จากนั้นจึงพัฒนาการยอมรับต่อเทคโนโลยีดังกล่าว [1], [3] และเมื่อการใช้งานก่อให้เกิดความรู้สึกมั่นใจและลดความกังวลเกี่ยวกับความเสี่ยง ผู้ใช้จึงอาจเกิดความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม ก่อนจะสะท้อนออกมาเป็นการตัดสินใจเลือกใช้บริการจริงในที่สุด กระบวนการดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การตัดสินใจของผู้ใช้มิได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยลำพัง แต่เป็นผลจากลำดับกลไกภายในที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ภายใต้บริบทนี้ ทฤษฎี Stimulus–Organism–Response (S-O-R) เป็นกรอบแนวคิดที่เหมาะสมในการอธิบายพฤติกรรมของผู้ใช้ออปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ เนื่องจากทฤษฎีดังกล่าวเสนอว่า ปัจจัยภายนอกหรือสิ่งเร้า (Stimulus) จะส่งผลต่อสภาวะภายในของบุคคล (Organism) ก่อนจะนำไปสู่การตอบสนองเชิงพฤติกรรม (Response) [5], [6] เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ สามารถกำหนดให้การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มเป็นสิ่งเร้าภายนอกที่ผู้ใช้ประเมินจากประสบการณ์การใช้งานแอปพลิเคชัน ขณะที่ การยอมรับเทคโนโลยี และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม เป็นสภาวะภายในของผู้ใช้ที่สะท้อนการประเมินเชิงการรับรู้และเชิงจิตวิทยา ส่วนการตัดสินใจเลือกใช้บริการเป็นการตอบสนองเชิงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นภายหลังจากกระบวนการดังกล่าว [5]

ในกรณีของแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มมีความสำคัญเป็นพิเศษ เพราะผู้ใช้อาจต้องประเมินทั้งคุณภาพเชิงระบบและคุณภาพเชิงบริการพร้อมกัน เช่น ความง่ายในการใช้งาน ความรวดเร็วในการตอบสนอง ความสะดวกในการเข้าถึงบริการ ความชัดเจนของข้อมูล ความปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคล และความสามารถของระบบในการสร้างความมั่นใจแก่ผู้ใช้ [2], [7], [8] หากผู้ใช้รับรู้ว่าคุณภาพสูง ก็มีแนวโน้มที่จะยอมรับเทคโนโลยีดังกล่าวมากขึ้น เนื่องจากเห็นว่าการใช้ระบบมีประสิทธิภาพ ใช้งานได้จริง และสอดคล้องกับความต้องการด้านสุขภาพของตนเอง [2], [5] ขณะเดียวกัน การยอมรับเทคโนโลยีอาจเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม เพราะเมื่อผู้ใช้รู้สึกว่าการระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเอื้อต่อการรับบริการจริง ความไม่แน่นอนและความกังวลต่อการใช้บริการทางการแพทย์ผ่านช่องทางดิจิทัลย่อมลดลง และนำไปสู่การตัดสินใจเลือกใช้บริการในท้ายที่สุด [5], [7], [9]

แม้งานวิจัยเดิมจะมีส่วนช่วยอธิบายพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีทางสุขภาพได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังมีข้อจำกัดสำคัญที่ทำให้การอธิบายพฤติกรรมของผู้ใช้ออปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ยังไม่สมบูรณ์เพียงพอ ประการแรก งานวิจัยจำนวนมากมักศึกษาปัจจัยด้านคุณภาพแพลตฟอร์ม การยอมรับเทคโนโลยี หรือความไว้วางใจแยกจากกัน ทำให้ยังขาดมุมมองเชิงบูรณาการที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้ในฐานะกระบวนการเดียวกัน [10], [11] ประการที่สอง งานวิจัยไม่น้อยมุ่งศึกษาความตั้งใจใช้งาน หรือความพึงพอใจเป็นผลลัพธ์หลัก แต่ยังมีงานวิจัยไม่มากนักที่มุ่งอธิบายการตัดสินใจเลือกใช้บริการหรือการใช้งานจริง ซึ่งเป็นผลลัพธ์เชิงพฤติกรรมที่สะท้อนการตัดสินใจของผู้ใช้ได้ใกล้เคียงกับบริบทจริงมากกว่า

โดยเฉพาะในบริการทางการแพทย์ที่ผู้ใช้งานต้องพิจารณาทั้งประโยชน์ ความเสี่ยง และความเชื่อมั่นก่อนตัดสินใจ [4], [12] ประการที่สาม แม้บริบทของบริการทางการแพทย์จะมีลักษณะเฉพาะที่ความไว้วางใจมีความสำคัญสูงกว่าบริการดิจิทัลทั่วไป [2] แต่ยังไม่ชัดเจนเพียงพอว่าการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม จะทำหน้าที่เป็นกลไกส่งผ่านระหว่าง การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มกับการตัดสินใจเลือกใช้บริการได้อย่างไร

จากประเด็นดังกล่าว จึงนำไปสู่ช่องว่างการวิจัย ที่แสดงให้เห็นว่ายังขาดงานวิจัยที่ศึกษาผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์โดยใช้กรอบ S-O-R เพื่ออธิบายการส่งผ่านจากการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มไปสู่การตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านการยอมรับเทคโนโลยี และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มพร้อมกันในโมเดลเดียว ช่องว่างนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะในบริบทการแพทย์ ผู้ใช้ไม่ได้ต้องการเพียงแพลตฟอร์มที่ใช้งานได้ดี แต่ต้องการแพลตฟอร์มที่เชื่อถือได้เพียงพอสำหรับการใช้บริการที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของตนเองด้วย หากไม่อธิบายบทบาทของความไว้วางใจควบคู่กับการยอมรับเทคโนโลยีก็อาจไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมในการเลือกใช้บริการทางการแพทย์ผ่านแอปพลิเคชันได้อย่างครบถ้วน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลกระทบการตัดสินใจเลือกใช้บริการของผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ ภายใต้กรอบทฤษฎี S-O-R โดยกำหนดให้การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มเป็นสิ่งเร้า (Stimulus) การยอมรับเทคโนโลยี และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มเป็นสภาวะภายในของผู้ใช้ (Organism) และ การตัดสินใจเลือกใช้บริการเป็นการตอบสนองเชิงพฤติกรรม (Response) กรอบแนวคิดดังกล่าวจะช่วยขยายองค์ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมผู้ใช้ในบริบทสุขภาพดิจิทัล และช่วยให้ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันที่ให้บริการทางการแพทย์และผู้กำหนดกลยุทธ์บริการสามารถออกแบบแพลตฟอร์มที่ตอบสนองทั้งมิติของประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ และความมั่นใจของผู้ใช้ได้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์
2. เพื่อศึกษาการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้
3. เพื่อศึกษาการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มที่มีอิทธิพลต่อความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มของผู้ใช้
4. เพื่อศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์
5. เพื่อศึกษาบทบาทการส่งผ่านของการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มในความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มกับการตัดสินใจเลือกใช้บริการแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ในรูปแบบการสำรวจภาคตัดขวาง (Cross-sectional Survey) โดยมุ่งศึกษาผลกระทบการตัดสินใจเลือกใช้บริการของผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ ภายใต้กรอบแนวคิด Stimulus–Organism–Response (S-O-R) ประชากรเป้าหมายของการวิจัยนี้ คือ ผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป และเคยใช้บริการผ่านแอปพลิเคชันอย่างน้อยหนึ่งครั้ง เช่น การนัดหมายพบแพทย์ การปรึกษาแพทย์ทางไกล การติดตามอาการ การเข้าถึงข้อมูลสุขภาพ หรือบริการสุขภาพรูปแบบอื่นผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัล ทั้งนี้ บริบทของแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์มีความเหมาะสมต่อการศึกษา เนื่องจากเป็นบริการดิจิทัลที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับสุขภาพ

ความปลอดภัย ข้อมูลส่วนบุคคล และการรับรู้ความเสี่ยงของผู้ใช้ ซึ่งทำให้กระบวนการตัดสินใจเลือกใช้บริการมีความซับซ้อนมากกว่าการใช้แพลตฟอร์มดิจิทัลทั่วไป

การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยกำหนดคุณสมบัติของผู้ตอบแบบสอบถามว่า ต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์จริงในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา เพื่อให้ผู้ตอบสามารถประเมินคุณภาพแพลตฟอร์ม การยอมรับเทคโนโลยี ความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม และการตัดสินใจเลือกใช้บริการได้จากประสบการณ์ตรง แบบสอบถามจะถูกเผยแพร่ผ่านหลายช่องทาง ได้แก่ สื่อสังคมออนไลน์ กลุ่มผู้ใช้บริการสุขภาพดิจิทัลชุมชนออนไลน์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ และเครือข่ายของผู้ใช้บริการทางการแพทย์ เพื่อให้เข้าถึงกลุ่มผู้ใช้ที่มีความหลากหลาย และช่วยลดอคติจากการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง (self-selection bias) ในระดับหนึ่ง นอกจากนี้ แบบสอบถามจะมีคำถามคัดกรองในตอนต้น เพื่อยืนยันว่าผู้ตอบเป็นผู้ที่เคยใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์จริงก่อนเข้าสู่ส่วนคำถามหลัก

สำหรับขนาดตัวอย่าง งานวิจัยนี้กำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างไว้จำนวน 400 ตัวอย่าง โดยการสุ่มแบบไม่ทราบจำนวนประชากร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาค่าตัวแปร โดยเฉพาะการวิเคราะห์หาค่าประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) และการทดสอบอภิปหาลทางตรงและทางอ้อมของตัวแปรด้วยการวิเคราะห์ถดถอย และ Hayes PROCESS Macro อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอำนาจทางสถิติ (statistical power) และเสถียรภาพของค่าประมาณพารามิเตอร์ในแบบจำลองวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้มาตรวัดแบบหลายข้อคำถาม (Multi-item Scales) ที่พัฒนาขึ้นจากกรอบแนวคิดของการวิจัยและดัดแปลงจากแบบสอบถามเดิมให้เหมาะสมกับบริบทของแอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ ตัวแปรหลักในกรอบแนวคิดประกอบด้วย 4 ตัวแปร ได้แก่ การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (Perceived Platform Quality: PPQ) การยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance: TA) ความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (Platform Trust: PT) และการตัดสินใจเลือกใช้บริการ (Decision to Use: DU) โดยข้อคำถามทั้งหมดวัดด้วยมาตราส่วนลิเคิร์ต 7 ระดับ ตั้งแต่ 1 = น้อยที่สุด ถึง 7 = มากที่สุด ทั้งนี้ ก่อนการทดสอบสมมติฐานจะมีการประเมินคุณภาพของโมเดลการวัดด้วยการวิเคราะห์หาค่าประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA)

ภายใต้กรอบแนวคิด S-O-R การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (PPQ) ถูกกำหนดให้เป็นสิ่งเร้าภายนอก (Stimulus) ที่ผู้ใช้รับรู้จากลักษณะของแอปพลิเคชันและคุณภาพการให้บริการผ่านแพลตฟอร์ม ขณะที่การยอมรับเทคโนโลยี (TA) และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (PT) สะท้อนสภาวะภายในของผู้ใช้ (Organism) ในด้านการรับรู้ ประเมินค่า และความเชื่อมั่นต่อเทคโนโลยี ส่วนการตัดสินใจเลือกใช้บริการ (DU) เป็นผลลัพธ์เชิงพฤติกรรม (Response) ที่เกิดขึ้นภายหลังจากกระบวนการรับรู้และประเมินดังกล่าว

1) การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (PPQ)

ตัวแปรการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (PPQ) วัดด้วยข้อคำถาม 3 ข้อ โดยมุ่งสะท้อนการรับรู้ของผู้ใช้ต่อคุณภาพโดยรวมของแอปพลิเคชันในด้านความพึงพอใจ ความง่ายในการใช้งาน และความชัดเจนของข้อมูล ข้อคำถามประกอบด้วย (1) แอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ ทำให้ท่านพึงพอใจในการใช้บริการ เช่น บริการที่รวดเร็ว การให้ข้อมูลการรักษาที่ถูกต้อง (2) แอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ ออกแบบหน้าตาและไอคอนทำให้ท่านใช้งานง่าย (3) แอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ มีเนื้อหาและข้อมูลที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย

2) การยอมรับเทคโนโลยี (TA)

ตัวแปรการยอมรับเทคโนโลยี (TA) วัดด้วยข้อคำถาม 3 ข้อ โดยสะท้อนการรับรู้ของผู้ใช้ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีของแอปพลิเคชัน ทั้งในด้านการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ การพัฒนาฟังก์ชันการใช้งาน และการปรับปรุงแอปพลิเคชันอย่างต่อเนื่องตามข้อเสนอแนะของผู้ใช้ ข้อคำถามประกอบด้วย (1) ท่านพบว่าแอปพลิเคชันมีการอัปเดตเรื่อง User Interface เพื่อให้ท่านใช้งานได้ง่ายที่สุด (2) ท่านพบว่าแอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ มีการพัฒนาปรับปรุงฟังก์ชันและฟีเจอร์ขึ้นมา เพื่อรองรับการใช้งานที่หลากหลายและครอบคลุม เช่น แพทย์เฉพาะทางที่มากขึ้นและหลากหลาย (3) ท่านพบว่าแอปพลิเคชันมีการรับคำแนะนำ คำติชม และมีการอัปเดตเวอร์ชันอย่างสม่ำเสมอ

3) ความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (PT)

ตัวแปรความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (PT) วัดด้วยข้อคำถาม 3 ข้อ โดยครอบคลุมความเชื่อมั่นของผู้ใช้ต่อความถูกต้องของข้อมูล ความเชื่อมั่นในคำแนะนำที่ได้รับ และความปลอดภัยของระบบก่อนเข้าใช้งาน ข้อคำถามประกอบด้วย (1) แอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ ให้คำแนะนำและข้อมูลที่ถูกต้อง (2) ท่านรู้สึกมั่นใจในคำแนะนำและคำปรึกษาจากการใช้งานแอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ (3) แอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ มีระบบการยืนยันตัวตนก่อนเข้าใช้งานที่ปลอดภัยทุกครั้ง (ยกตัวอย่าง เช่น ระบบสแกนลายนิ้วมือ ระบบ Passcode)

4) การตัดสินใจเลือกใช้บริการ (DU)

ตัวแปรการตัดสินใจเลือกใช้บริการ (DU) วัดด้วยข้อคำถาม 3 ข้อ โดยสะท้อนความตั้งใจในการเลือกใช้อุปกรณ์เพื่อรับบริการทางการแพทย์ รวมถึงความตั้งใจในการบอกต่อแก่ผู้อื่น ข้อคำถามประกอบด้วย (1) ท่านมีความตั้งใจที่จะใช้บริการแอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ในการค้นหาข้อมูลทางการแพทย์ (2) ท่านมีความตั้งใจที่จะใช้บริการแอปพลิเคชันปรึกษาแพทย์ออนไลน์ในการรักษาทางการแพทย์ (3) ท่านจะแนะนำให้บุคคลอื่นเลือกใช้อุปกรณ์ปรึกษาแพทย์ออนไลน์เหมือนกับท่าน

ก่อนการเก็บข้อมูลจริง แบบสอบถามได้ถูกส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 คน เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ความเหมาะสมของภาษา และความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับนิยามเชิงปฏิบัติการของแต่ละตัวแปร หลังจากนั้นจะมีการทดลองใช้แบบสอบถาม (Pilot Test) กับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างจริง เพื่อประเมินความชัดเจนของถ้อยคำ ระยะเวลาในการตอบ และความเชื่อมั่นเบื้องต้นของเครื่องมือ ก่อนปรับปรุงแบบสอบถามให้เหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลจริง

การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา และการวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน โดยการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ ความถี่ และร้อยละ ส่วนการวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ใช้เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์และอิทธิพลระหว่างตัวแปรในแบบจำลองวิจัย

ก่อนการทดสอบสมมติฐาน ผู้วิจัยได้ประเมินคุณภาพของเครื่องมือวิจัยด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) เพื่อพิจารณาความตรงเชิงโครงสร้าง ความตรงเชิงคู่เข้า ความตรงเชิงจำแนก และความเชื่อมั่นของตัวแปรแฝงแต่ละตัว จากนั้นจึงวิเคราะห์อิทธิพลทางตรงของการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม การยอมรับเทคโนโลยี และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มที่มีต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการ โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้น

สำหรับการทดสอบบทบาทของตัวแปรส่งผ่าน ผู้วิจัยใช้ Hayes PROCESS Macro Model 4 เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลทางอ้อมของการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มที่มีต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม โดยใช้วิธีบูตสตรัป (Bootstrapping) จำนวน 5,000 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้ หากช่วงความเชื่อมั่นของอิทธิพลทางอ้อมไม่ครอบคลุมค่า 0 จะถือว่าอิทธิพลดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ

ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม การยอมรับเทคโนโลยี ความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม การตัดสินใจเลือกใช้บริการ และกรอบแนวคิด Stimulus–Organism–Response (S-O-R) เพื่อนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย
2. กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย โดยกำหนดให้การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มเป็นตัวแปรต้น การยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มเป็นตัวแปรส่งผ่าน และการตัดสินใจเลือกใช้บริการเป็นตัวแปรตาม
3. กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย โดยประชากรเป้าหมายคือผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์เคยใช้บริการจริงอย่างน้อย 1 ครั้ง โดยกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน
4. พัฒนาเครื่องมือวิจัยในรูปแบบแบบสอบถาม โดยสร้างข้อคำถามให้สอดคล้องกับนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปร ได้แก่ การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม การยอมรับเทคโนโลยี ความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม และการตัดสินใจเลือกใช้บริการ โดยใช้มาตราส่วนลิเคิร์ต 7 ระดับ
5. ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย โดยนำแบบสอบถามให้ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ความเหมาะสมของภาษา และความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวิจัย จากนั้นทดลองใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กก่อนเก็บข้อมูลจริง
6. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์ที่กำหนด ผ่านช่องทางออนไลน์และเครือข่ายที่เกี่ยวข้องกับผู้ให้บริการสุขภาพดิจิทัล
7. ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลที่ได้รับจากแบบสอบถาม และคัดกรองข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่เป็นไปตามเกณฑ์ออกก่อนนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ
8. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ ความถี่ และร้อยละ
9. วิเคราะห์คุณภาพของโมเดลการวัดด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน เพื่อตรวจสอบค่าน้ำหนักองค์ประกอบ ความตรงเชิงลู่เข้า ความตรงเชิงจำแนก และความเชื่อมั่นของตัวแปรแฝงแต่ละตัว
10. ทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยการวิเคราะห์ถดถอยและ Hayes PROCESS Macro Model 4 เพื่อตรวจสอบอิทธิพลทางตรง อิทธิพลทางอ้อม และบทบาทการส่งผ่านของการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม
11. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และจัดทำข้อเสนอแนะเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ

ความตรงและความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย

งานวิจัยนี้จะประเมินความตรงและความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัยอย่างเป็นระบบก่อนนำคะแนนรวมของตัวแปรไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ โดยความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) จะถูกประเมินด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis: CFA) ตามแนวทางของ Fornell and Larcker (1981) เพื่อพิจารณาทั้งความตรงเชิงลู่เข้า (Convergent Validity) และความตรงเชิงจำแนก (Discriminant Validity) ของตัวแปรแฝงแต่ละตัว

สำหรับการประเมินความตรงเชิงลู่เข้า จะพิจารณาจากค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐาน (Standardized Factor Loadings) ซึ่งค่ามากกว่า 0.6 และมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความแปรปรวนเฉลี่ยที่สกัดได้ (Average Variance Extracted: AVE) มีค่ามากกว่า 0.50 และค่าความเชื่อมั่นรวม (Composite Reliability: CR) มากกว่า 0.70 ทุกกลุ่มคำถาม ในด้านความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย จะประเมินด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha) และค่าความเชื่อมั่นรวม (CR) โดยกำหนดเกณฑ์ยอมรับที่ 0.70 ขึ้นไป

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันจะดำเนินการด้วยโปรแกรม AMOS เพื่อประเมินความสอดคล้องของโมเดลการวัดกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยจะพิจารณาดัชนีความสอดคล้องของโมเดลหลายค่า ได้แก่ ค่าไคสแควร์ต่อองศาอิสระ (χ^2/df) ซึ่งน้อยกว่า 2.00 ค่า Comparative Fit Index (CFI), Tucker-Lewis Index (TLI) และ Incremental Fit Index (IFI) ซึ่งมากกว่า 0.90 ค่า Goodness-of-Fit Index (GFI) เท่ากับ 0.962 และ Adjusted Goodness-of-Fit Index (AGFI) เท่ากับ 0.939 และค่า Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.05 (PCLOSE=0.466)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

Measurement Item	Standard Loading	CR	AVE
PPQ1	0.85	0.866	0.684
PPQ2	0.83		
PPQ3	0.80		
TA1	0.79	0.788	0.554
TA2	0.69		
TA3	0.75		
PT1	0.67	0.786	0.553
PT2	0.84		
PT3	0.71		
DU1	0.70	0.810	0.590
DU2	0.81		
DU3	0.79		

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน พบว่า ค่าน้ำหนักองค์ประกอบมาตรฐานของตัวแปรสังเกตได้ทุกข้ออยู่ระหว่าง 0.67–0.85 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยตัวแปรการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (PPQ) มีค่า CR = 0.866 และ AVE = 0.684 ตัวแปรการยอมรับเทคโนโลยี (TA) มีค่า CR = 0.788 และ AVE = 0.554 ตัวแปรความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (PT) มีค่า CR = 0.786 และ AVE = 0.553 และตัวแปรการตัดสินใจใช้บริการ (DU) มีค่า CR = 0.810 และ

AVE = 0.590 ทั้งนี้ ค่า CR ของทุกตัวแปรมีค่ามากกว่า 0.70 และค่า AVE มีค่ามากกว่า 0.50 แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวิจัยมีความเชื่อมั่นเชิงองค์ประกอบและมีความตรงเชิงลู่เข้าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 เมทริกซ์สหสัมพันธ์และการวิเคราะห์ความตรงเชิงจำแนก

	PPQ	TA	PT	DU
PPQ	0.82			
TA	0.73	0.74		
PT	0.61	0.72	0.74	
DU	0.58	0.71	0.73	0.76

ค่าบนแนวทแยงมุมคือค่ารากที่สองของ AVE , PPQ=การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม, TA = การยอมรับเทคโนโลยี, PT = ความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม, DU = การตัดสินใจเลือกใช้บริการ

เมื่อพิจารณาความตรงเชิงจำแนกตามเกณฑ์ Fornell-Larcker พบว่า ค่ารากที่สองของ AVE ซึ่งแสดงอยู่บนแนวทแยงมุม มีค่าเท่ากับ 0.82 สำหรับ PPQ, 0.74 สำหรับ TA, 0.74 สำหรับ PT และ 0.76 สำหรับ DU โดยค่าดังกล่าวสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแฝงในแถวและคอลัมน์เดียวกันทุกกรณี แสดงให้เห็นว่าตัวแปรแฝงแต่ละตัวสามารถจำแนกออกจากกันได้อย่างเหมาะสม แม้ว่าตัวแปรบางคู่จะมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูง แต่ยังไม่เกินค่ารากที่สองของ AVE ของตัวแปรนั้น ๆ ดังนั้น โมเดลการวัดจึงมีความตรงเชิงจำแนกอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การประเมินความตรงเชิงจำแนกและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ภายหลังการยืนยันคุณภาพของโมเดลการวัดแล้ว งานวิจัยนี้ได้ประเมินความตรงเชิงจำแนก (Discriminant Validity) ของตัวแปรแฝงด้วยเกณฑ์ของ Fornell-Larcker [13] โดยพิจารณาจากค่ารากที่สองของ Average Variance Extracted (AVE) ของแต่ละตัวแปร เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในแบบจำลอง หากค่ารากที่สองของ AVE ของตัวแปรใดมีค่าสูงกว่าค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นกับตัวแปรอื่นทั้งหมด จะถือว่าตัวแปรดังกล่าวมีความตรงเชิงจำแนกอยู่ในระดับที่เหมาะสม กล่าวคือ มาตรวัดสามารถแยกความแตกต่างของแต่ละตัวแปรแฝงออกจากกันได้อย่างชัดเจน แสดงดังตารางที่ 2

สำหรับการทดสอบสมมติฐาน งานวิจัยนี้วิเคราะห์ทั้งอิทธิพลทางตรงและอิทธิพลทางอ้อมของตัวแปรในแบบจำลอง โดยสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทางตรง ได้แก่ อิทธิพลของการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มที่มีต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการ รวมถึงอิทธิพลของการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มที่มีต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการ จะทดสอบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณตามความเหมาะสมของแบบจำลอง ขณะที่สมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลทางอ้อม จะทดสอบด้วยโปรแกรม Hayes PROCESS Macro โดยใช้ Model 4 ซึ่งเหมาะสำหรับการทดสอบบทบาทของตัวแปรส่งผ่านแบบขนาน (Parallel Mediation)

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ กำหนดให้การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (PPQ) เป็นตัวแปรอิสระ การตัดสินใจเลือกใช้บริการ (DU) เป็นตัวแปรตาม และกำหนดให้การยอมรับเทคโนโลยี (TA) และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (PT) เป็นตัวแปรส่งผ่านที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดอิทธิพลของ PPQ ไปยัง DU พร้อมกันในลักษณะแบบขนาน ทั้งนี้ การใช้ Model 4 ช่วยให้สามารถตรวจสอบได้ทั้งอิทธิพลรวม (total effect) อิทธิพลทางตรง (direct effect) และอิทธิพลทางอ้อม (indirect effects) ของ PPQ ต่อ DU ผ่าน TA และ PT

การทดสอบอิทธิพลทางอ้อมใช้วิธีการบูตสตรัป (Bootstrapping) จำนวน 5,000 ตัวอย่างสุ่มซ้ำ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพิจารณาว่า หากช่วงความเชื่อมั่นของอิทธิพลทางอ้อม (Bootstrapped Confidence Interval) ไม่ครอบคลุมค่า 0 จะถือว่าอิทธิพลทางอ้อมดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรนั้นทำหน้าที่เป็นตัวแปรส่งผ่านในความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

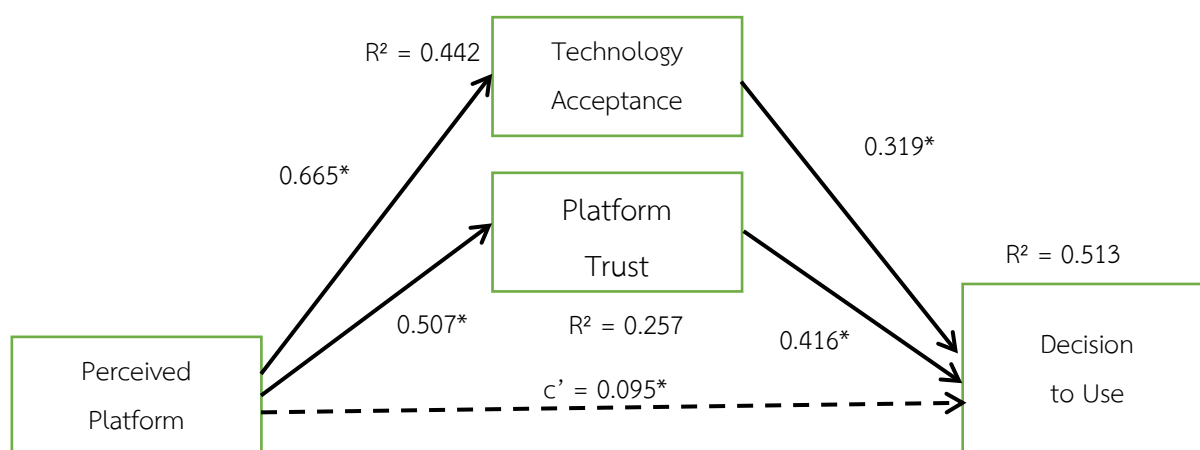
ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 400 คน พบว่า เมื่อจำแนกตามเพศ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 230 คน คิดเป็นร้อยละ 57.50 รองลงมาคือเพศชาย จำนวน 169 คน คิดเป็นร้อยละ 42.25 และมีผู้ไม่ระบุเพศ จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 0.25 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างในการศึกษาค้างนี้มีสัดส่วนของผู้ตอบแบบสอบถามเพศหญิงมากกว่าเพศชาย เมื่อจำแนกตามอายุ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 31-40 ปี จำนวน 177 คน คิดเป็นร้อยละ 44.25 รองลงมาคือช่วงอายุ 41-50 ปี จำนวน 94 คน คิดเป็นร้อยละ 23.50 และช่วงอายุ 21-30 ปี จำนวน 80 คน คิดเป็นร้อยละ 20.00 ตามลำดับ ส่วนผู้ตอบแบบสอบถามช่วงอายุ 51-60 ปี มีจำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 6.25 ช่วงอายุ 61 ปีขึ้นไป จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 4.75 และกลุ่มอายุต่ำกว่า 20 ปี มีจำนวนน้อยที่สุด จำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 1.25 จากผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นกลุ่มวัยทำงาน โดยเฉพาะช่วงอายุ 31-50 ปี ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีสัดส่วนรวมกันมากกว่าครึ่งหนึ่งของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรหลักในโมเดล พบว่า การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (PPQ) มีอิทธิพลเชิงบวกต่อการตัดสินใจใช้บริการ (DU) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแบบจำลองมีนัยสำคัญ ($F = 145.462, p < .001$) และสามารถอธิบายความแปรปรวนของ DU ได้ร้อยละ 26.8 ($R^2 = .268$) ทั้งนี้ PPQ มีค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานเท่ากับ $\beta = .517$ ($t = 12.061, p < .001$) แสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้รับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มสูงขึ้น การตัดสินใจใช้บริการก็เพิ่มขึ้นตาม นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทดสอบอิทธิพลของการยอมรับเทคโนโลยี (TA) และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (PT) ที่มีต่อการตัดสินใจใช้บริการ (DU) พบว่าแบบจำลองมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 205.020, p < .001$) และสามารถอธิบายความแปรปรวนของ DU ได้ร้อยละ 50.8 ($R^2 = .508$) โดยทั้ง TA และ PT มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ DU อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ TA มีค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานเท่ากับ $\beta = .371$ ($t = 8.709, p < .001$) และ PT มีค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานเท่ากับ $\beta = .434$ ($t = 10.172, p < .001$) สะท้อนว่าเมื่อผู้ใช้อยู่มีการยอมรับเทคโนโลยีสูงขึ้นและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มมากขึ้น ก็จะมีแนวโน้มตัดสินใจใช้บริการมากขึ้น โดย PT มีอิทธิพลสูงกว่า TA เล็กน้อยเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน

ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรส่งผ่าน พบว่า PPQ มีอิทธิพลเชิงบวกต่อ TA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแบบจำลองมีนัยสำคัญ ($F = 314.977, p < .001$) และสามารถอธิบายความแปรปรวนของ TA ได้ร้อยละ 44.2 ($R^2 = .442$) โดย PPQ มีค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานเท่ากับ $\beta = .665$ ($t = 17.748, p < .001$) แสดงว่าเมื่อผู้รับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มสูงขึ้น จะส่งผลให้เกิดการยอมรับเทคโนโลยีมากขึ้นอย่างชัดเจน ขณะเดียวกัน PPQ ยังมีอิทธิพลเชิงบวกต่อ PT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแบบจำลองมีนัยสำคัญ ($F = 137.953, p < .001$) และสามารถอธิบายความแปรปรวนของ PT ได้ร้อยละ 25.7 ($R^2 = .257$) โดย PPQ มีค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานเท่ากับ $\beta = .507$ ($t = 11.745, p < .001$) แสดงว่าการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มที่ดีขึ้นช่วยเพิ่มระดับความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มด้วย

เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลส่งผ่านด้วย PROCESS Model 4 โดยรายงานเฉพาะค่าสถิติแบบมาตรฐาน พบว่าอิทธิพลรวมของ PPQ ต่อ DU มีนัยสำคัญทางสถิติ ($c = .517, p < .001$) และเมื่อใส่ตัวแปรส่งผ่าน TA และ PT เข้าไปในโมเดล อิทธิพลทางตรงของ PPQ ต่อ DU ลดลงเหลือ $c' = .095$ ($p = .0497$) ขณะที่ผลทางอ้อมรวมแบบมาตรฐานมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\text{Effect_std} = .423, 95\% \text{ CI } [.303, .540]$) โดยผลทางอ้อมผ่าน TA มีนัยสำคัญ ($\text{Effect_std} = .212, 95\% \text{ CI } [.099, .330]$) และผลทางอ้อมผ่าน PT มีนัยสำคัญเช่นกัน ($\text{Effect_std} = .211, 95\% \text{ CI } [.137, .291]$) เนื่องจากช่วงความเชื่อมั่นไม่ครอบคลุมศูนย์ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดและผลการวิเคราะห์เชิงประจักษ์ของแบบจำลองการส่งผ่านแบบขนาน (PROCESS Model 4)

สรุปได้ว่า การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (PPQ) ส่งผลต่อการตัดสินใจใช้บริการ (DU) ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยอิทธิพลทางอ้อมดังกล่าวส่งผ่านการยอมรับเทคโนโลยี (TA) และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (PT) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ TA และ PT ทำหน้าที่เป็นตัวแปรส่งผ่านบางส่วนในความสัมพันธ์ระหว่าง PPQ และ DU โดยผลทางอ้อมผ่าน TA และ PT มีขนาดใกล้เคียงกัน

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายกลไกการตัดสินใจเลือกใช้บริการของผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ภายใต้กรอบแนวคิด Stimulus–Organism–Response (S-O-R) โดยกำหนดให้การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม (Perceived Platform Quality: PPQ) เป็นสิ่งเร้า (Stimulus) การยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance: TA) และความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์ม (Platform Trust: PT) เป็นสภาวะภายในของผู้ใช้ (Organism) และการตัดสินใจเลือกใช้บริการ (Decision to Use: DU) เป็นการตอบสนองเชิงพฤติกรรม (Response) [5] ผลการวิเคราะห์พบว่า PPQ มีอิทธิพลต่อ DU ทั้งทางตรงและทางอ้อมผ่าน TA และ PT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนว่าการตัดสินใจใช้บริการแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ไม่ได้เกิดจากการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มเพียงอย่างเดียว แต่เกิดผ่านกระบวนการประเมินภายในของผู้ใช้ร่วมด้วย [5]

ประการแรก ผลการวิจัยพบว่า การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเมื่อผู้ใช้รับรู้ว่าคุณภาพแพลตฟอร์มออนไลน์ทางการแพทย์มีคุณภาพสูง ไม่ว่าจะเป็นในด้านความสะดวกในการใช้งาน ความชัดเจนของข้อมูล ความรวดเร็วในการให้บริการ และความน่าเชื่อถือของระบบ ผู้ใช้จะยังมีแนวโน้มตัดสินใจเลือกใช้บริการผ่านแพลตฟอร์มนั้นมากขึ้น ผลดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดด้านคุณภาพแพลตฟอร์มและคุณภาพบริการอิเล็กทรอนิกส์ที่มองว่าคุณภาพที่ผู้ใช้รับรู้เป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลโดยตรงต่อการยอมรับและการตัดสินใจใช้งานบริการดิจิทัล โดยเฉพาะในบริบทบริการทางการแพทย์ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อความเสี่ยงและความปลอดภัยมากกว่าบริการออนไลน์ทั่วไป [2] ผลลัพธ์นี้จึงสนับสนุนแนวคิดของ Kim และ Yum [14] และ Ismail et al. [8] ที่ชี้ว่าเมื่อผู้ใช้รับรู้ว่าคุณภาพแพลตฟอร์มมีคุณภาพดี ย่อมเกิดแนวโน้มที่จะใช้บริการมากขึ้น

ประการที่สอง ผลการวิจัยพบว่า การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการยอมรับเทคโนโลยีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าเมื่อผู้ใช้เห็นว่าแอปพลิเคชันมีการออกแบบที่เหมาะสม ใช้งานได้ง่าย มีการพัฒนาฟังก์ชันอย่างต่อเนื่อง และตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ได้จริง ผู้ใช้จะยังเกิดการยอมรับเทคโนโลยีดังกล่าวมากขึ้น ผลนี้สะท้อนว่าในบริบทสุขภาพดิจิทัล คุณภาพของแพลตฟอร์มไม่ใช่เพียงคุณลักษณะเชิงเทคนิค แต่เป็นพื้นฐานสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้มองว่าเทคโนโลยีนั้นมีประโยชน์ ใช้งานได้จริง และคุ้มค่าแก่การนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดของการยอมรับเทคโนโลยีและงานของ Alaiad et al. [2] และ Cai [5] ที่อธิบายว่าคุณภาพของระบบมีบทบาทสำคัญในการยกระดับการประเมินเชิงบวกของผู้ใช้ต่อเทคโนโลยี

ประการที่สาม ผลการวิจัยพบว่า การรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มมีอิทธิพลเชิงบวกต่อความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสะท้อนว่าเมื่อผู้ใช้รับรู้ว่าคุณภาพแพลตฟอร์มมีความน่าเชื่อถือ ให้ข้อมูลถูกต้อง และมีความปลอดภัยในการใช้งาน ผู้ใช้จะเกิดความมั่นใจและเชื่อถือแพลตฟอร์มมากขึ้น ผลดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งในบริบทบริการทางการแพทย์ เพราะผู้ใช้ต้องเปิดเผยข้อมูลสุขภาพส่วนบุคคล และคาดหวังว่าระบบจะสามารถให้ข้อมูลหรือบริการที่ไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของตนเองได้ ข้อค้นพบนี้จึงสอดคล้องกับงานของ Choi และ Mai [7], Dewi et al. [9] และ Song [15] ที่ชี้ว่าแพลตฟอร์มที่มีคุณภาพสามารถสร้างความไว้วางใจให้แก่ผู้ใช้ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ประการที่สี่ ผลการวิจัยพบว่า ทั้งการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มซึ่งมีอิทธิพลค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการยอมรับเทคโนโลยี สะท้อนว่าผู้ใช้บริการทางการแพทย์ออนไลน์ไม่ได้พิจารณาเพียงว่าเทคโนโลยีใช้งานได้ดีหรือมีประโยชน์เท่านั้น แต่ยังให้ความสำคัญอย่างมากกับความเชื่อมั่นว่าระบบมีความปลอดภัย น่าเชื่อถือ และสามารถพึ่งพาได้จริง ผลการวิจัยส่วนนี้ช่วยยืนยันว่าการยอมรับเทคโนโลยีเป็นกลไกสำคัญในการผลักดันให้เกิดการใช้งาน ขณะที่ความไว้วางใจเป็นเงื่อนไขสำคัญที่ลดความกังวลและผลักดันการตัดสินใจในบริบทที่มีความเสี่ยงสูงอย่างบริการทางการแพทย์ออนไลน์ ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khan และ Abideen [16], Mou et al. [17], Yang et al. [18] และ Cai [5]

ประการที่ห้า ผลการวิเคราะห์ PROCESS Model 4 พบว่า การยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มทำหน้าที่เป็นตัวแปรส่งผ่านบางส่วนในความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์มกับการตัดสินใจเลือกใช้บริการ กล่าวคือ แม้ PPO จะยังคงมีอิทธิพลทางตรงต่อ DU แต่เมื่อใส่ TA และ PT เข้าไปในโมเดลแล้ว อิทธิพลทางตรงดังกล่าวลดลงอย่างชัดเจน ขณะที่อิทธิพลทางอ้อมผ่าน TA และ PT ต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าคุณภาพแพลตฟอร์มไม่ได้ผลักดันการตัดสินใจใช้งานโดยตรงเพียงลำพัง แต่จะต้องแปรเปลี่ยนเป็นการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจก่อน จึงจะส่งผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจใช้งานได้เด่นชัดมากขึ้น

ในมุมมองกรอบแนวคิด S-O-R ผลการวิจัยครั้งนี้สนับสนุนโครงสร้างของทฤษฎี กล่าวคือ สิ่งเร้าภายนอกในรูปของการรับรู้คุณภาพแพลตฟอร์ม ได้เข้าไปส่งผลต่อสภาวะภายในของผู้ใช้ทั้งในเชิงการรับรู้ต่อเทคโนโลยีและเชิงความเชื่อมั่นต่อแพลตฟอร์ม ก่อนจะนำไปสู่การตอบสนองเชิงพฤติกรรมคือการตัดสินใจเลือกใช้บริการ [5], [6] ผลลัพธ์ดังกล่าวจึงช่วยยืนยันว่า พฤติกรรมของผู้ใช้แอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์เป็นผลจากกระบวนการประเมินภายในหลายมิติ มีการตอบสนองโดยตรงต่อคุณลักษณะของแพลตฟอร์มเพียงเท่านั้น [5], [19]

กล่าวโดยสรุป ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การยกระดับคุณภาพแพลตฟอร์มเป็นจุดเริ่มต้นสำคัญของการสร้างการตัดสินใจใช้บริการ แต่ผลลัพธ์ดังกล่าวจะมีพลังมากขึ้นเมื่อคุณภาพนั้นสามารถเปลี่ยนเป็นการยอมรับเทคโนโลยีและความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มได้พร้อมกัน จึงอาจกล่าวได้ว่า ในบริบทของแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ คุณภาพ เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นขณะที่ การยอมรับ และ ความไว้วางใจ คือกลไกสำคัญที่ทำให้ผู้ใช้ตัดสินใจใช้บริการจริงในที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันออนไลน์ทางการแพทย์ควรให้ความสำคัญกับการยกระดับคุณภาพของแพลตฟอร์มในทุกมิติ ได้แก่ การออกแบบหน้าจอ ความง่ายในการใช้งาน ความรวดเร็วในการตอบสนอง ความชัดเจนของข้อมูล และเสถียรภาพของระบบ [20] เนื่องจากคุณภาพที่ผู้ใช้รับรู้เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อการตัดสินใจใช้บริการ และยังเป็นพื้นฐานของการยอมรับเทคโนโลยีและการสร้างความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มในระยะต่อมา [9]

2. ผู้ให้บริการควรออกแบบประสบการณ์การใช้งานที่เอื้อต่อการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ โดยปรับปรุงส่วนติดต่อผู้ใช้ให้เข้าใจง่าย พัฒนาฟังก์ชันที่ตอบโจทย์การใช้งานจริง รองรับความต้องการของผู้ใช้ที่หลากหลาย และสื่อสารให้ผู้ใช้อำนาจถึงประโยชน์ของระบบอย่างชัดเจน [1], [2] ทั้งนี้ เมื่อผู้ใช้รับรู้ว่าคุณภาพใช้งานง่าย มีประโยชน์ และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ก็จะมีแนวโน้มตัดสินใจเลือกใช้บริการจริงมากยิ่งขึ้น [21]

3. ผู้พัฒนาและผู้ให้บริการควรให้ความสำคัญกับการสร้างความไว้วางใจต่อแพลตฟอร์มอย่างจริงจัง โดยเฉพาะในด้านความปลอดภัยของข้อมูลสุขภาพ ความถูกต้องของข้อมูลทางการแพทย์ ความน่าเชื่อถือของคำแนะนำจากแพทย์ และมาตรการยืนยันตัวตนก่อนเข้าใช้งาน [2], [22] เนื่องจากความไว้วางใจเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้ผู้ใช้ตัดสินใจใช้บริการ หากผู้ใช้อย่างไม่มั่นใจในความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือของระบบ แม้แพลตฟอร์มจะใช้งานสะดวกเพียงใด ก็อาจไม่เพียงพอที่จะจูงใจให้เกิดการใช้งานจริงได้ [16], [17]

4. องค์กรทางการแพทย์ โรงพยาบาล และผู้ประกอบการด้านสุขภาพดิจิทัลควรนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดกลยุทธ์การออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มอย่างเป็นระบบ โดยไม่ควรมุ่งเน้นเฉพาะการพัฒนาในมิติทางเทคนิคเท่านั้น แต่ควรเชื่อมโยงการพัฒนาแพลตฟอร์มไปสู่การสร้างการยอมรับและความเชื่อมั่นของผู้ใช้ควบคู่กัน [14]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Q. Zhang, R. Zhang, X. Lu, and X. Zhang, "What drives the adoption of online health communities? An empirical study from patient-centric perspective," *BMC Health Serv Res*, vol. 23, no. 1, pp. 524, May 2023, doi: 10.1186/s12913-023-09469-6.
- [2] A. Alaiad, M. Alsharo, and Y. Alnsour, "The Determinants of M-Health Adoption in Developing Countries: An Empirical Investigation," *Appl Clin Inform*, vol. 10, no. 05, pp. 820–840, Oct. 2019, doi: 10.1055/s-0039-1697906.
- [3] D. Timilsina, S. R. Acharya, J. Bhatta, and M. Pathak, "Does the integrated electronic medical record system have a positive adoption in community hospital settings?," *BMC Med Inform Decis Mak*, vol. 25, no. 1, pp. 444, Dec. 2025, doi: 10.1186/s12911-025-03283-2.
- [4] A. Alshahrani, H. Williams, and K. MacLure, "Investigating Health Managers' Perspectives of Factors Influencing Their Acceptance of eHealth Services in the Kingdom of Saudi Arabia: A Quantitative Study," *Saudi J Health Syst Res*, vol. 2, no. 3, pp. 114–127, Jul. 2022, doi: 10.1159/000525423.
- [5] H. Cai, "Examining Social E-Commerce Platforms by Mediating the Effect of Perceived Usefulness and Perceived Trust Using the Technology Acceptance Model.," *Journal of Organizational and End User Computing*, vol. 34, no. 8, pp. 1–20, Dec. 2022, doi: 10.4018/JOEUC.315621.
- [6] T. D. C. Marhaeni and R. S. Hayu, "Interface Quality, Perceived Enjoyment, dan Perceived Trust terhadap Niat Pembelian Menggunakan Aplikasi E-commerce Lazada," *Revitalisasi*, vol. 12, no. 2, pp. 264, Dec. 2023, doi: 10.32503/revitalisasi.v12i2.4512.
- [7] Y. Choi and D. Mai, "The Sustainable Role of the E-Trust in the B2C E-Commerce of Vietnam," *Sustainability*, vol. 10, no. 1, pp. 291, Jan. 2018, doi: 10.3390/su10010291.
- [8] R. M. Ismail, M. Jusop, M. M. Nor, N. A. Samah, and A. M. Tjoa, "Enhancing consumer trust through sharia-compliant system quality in halal e-commerce platforms: A case study," *ijirss*, vol. 8, no. 4, pp. 1439–1448, Jun. 2025, doi: 10.53894/ijirss.v8i4.8096.
- [9] A. S. Dewi, A. Wulandari, A. Rahayu, and H. Hendrayati, "Gaining User Satisfaction of KAI-Access: E-Service Quality Dimensions as Antecedent Through E-Trust," *APMBA*, vol. 011, no. 03, pp. 363–378, Apr. 2023, doi: 10.21776/ub.apmba.2023.011.03.8.
- [10] M. A. Almaiah *et al.*, "Investigating the Effect of Perceived Security, Perceived Trust, and Information Quality on Mobile Payment Usage through Near-Field Communication (NFC) in Saudi Arabia," *Electronics*, vol. 11, no. 23, pp. 3926, Nov. 2022, doi: 10.3390/electronics11233926.
- [11] A. Daragmeh, J. Săgi, and Z. Zéman, "Continuous Intention to Use E-Wallet in the Context of the COVID-19 Pandemic: Integrating the Health Belief Model (HBM) and Technology Continuous Theory (TCT)," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 7, no. 2, pp. 132, Jun. 2021, doi: 10.3390/joitmc7020132.

-
- [12] SNOkofu, T Anning-Dorson, and HlDuh, "Consumer Adoption and Continual Use of E-Vouchers: A Study of the Nigeria Telecommunication," *IRJMS*, vol. 06, no. 02, pp. 330–342, 2025, doi: 10.47857/irjms.2025.v06i02.03788.
- [13] C. Fornell and D. F. Larcker, "Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error," *Journal of marketing research*, vol. 18, no. 1, pp. 39–50, 1981.
- [14] J. Kim and K. Yum, "Enhancing Continuous Usage Intention in E-Commerce Marketplace Platforms: The Effects of Service Quality, Customer Satisfaction, and Trust," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 17, pp. 7617, Aug. 2024, doi: 10.3390/app14177617.
- [15] R. Song, "Factors Influencing Consumer Trust and Loyalty in E-Commerce: A Case Study of Website PT. Wearinasia Internet Akselerasi:," *isc-beam*, vol. 3, no. 1, pp. 1346–1367, Apr. 2025, doi: 10.21009/ISC-BEAM.013.101.
- [16] W. A. Khan and Z. U. Abideen, "Effects of behavioural intention on usage behaviour of digital wallet: the mediating role of perceived risk and moderating role of perceived service quality and perceived trust," *Futur Bus J*, vol. 9, no. 1, pp. 73, Sep. 2023, doi: 10.1186/s43093-023-00242-z.
- [17] J. Mou, Y. Cui, and K. Kurcz, "Trust, Risk and Alternative Website Quality in B-Buyer Acceptance of Cross-Border E-Commerce:," *Journal of Global Information Management*, vol. 28, no. 1, pp. 167–188, Jan. 2020, doi: 10.4018/JGIM.2020010109.
- [18] M. Yang, A. A. Mamun, M. Mohiuddin, N. C. Nawi, and N. R. Zainol, "Cashless Transactions: A Study on Intention and Adoption of e-Wallets," *Sustainability*, vol. 13, no. 2, pp. 831, Jan. 2021, doi: 10.3390/su13020831.
- [19] B. Gashema and A. M. Alain, "Building Customer Trust in e-commerce: A Study on Buyers' Adoption and Usage Intent in Rwanda," *IJFBS*, vol. 11, no. 4, pp. 47–57, Jan. 2023, doi: 10.20525/ijfbs.v11i4.2004.
- [20] M. Faris and A. Manap, "The Effect of e-Trust and e-Service Quality on Customer Loyalty on Lazada e-Commoerce in Central Jakarta," *RIGGS*, vol. 4, no. 2, pp. 7281–7290, Jul. 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i2.1850.
- [21] D. Chatterjee, S. Pati, A. S. Dhaigude, and G. B. Kamath, "Examining the acceptance of over-the-top services among young consumers during pandemic: a multi-theory approach," *Cogent Business & Management*, vol. 12, no. 1, pp. 2439544, Dec. 2025, doi: 10.1080/23311975.2024.2439544.
- [22] A. K. Samha, A. M. Alrashdi, and G. H. Alshammri, "The influencing factors of digital health passport adoption and acceptance during COVID-19 in Saudi Arabia," *DIGITAL HEALTH*, vol. 8, pp. 205520762211426, Jan. 2022, doi: 10.1177/20552076221142668.

THE EFFECTS OF CYBERSECURITY AWARENESS, ATTITUDE, AND BEHAVIOR ON INFORMATION PROTECTION EFFECTIVENESS AMONG SECONDARY VOCATIONAL SCHOOL STUDENTS IN CHINA

Weng Zhen^{1*} and Songpon Nakharacruangsak²

Master of Science Program in Information Technology, Faculty of Digital Technology and Innovation,
Southeast Bangkok University^{1,2}

Author email: wengzhen34@gmail.com^{1*}, Songpon@southeast.ac.th²

Received: April	2, 2026
Revised: May	27, 2026
Accepted: June	12, 2026

Abstract

The purposes of the research were: 1) to assess the current levels of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, cybersecurity behavior, and information protection effectiveness among students at a secondary vocational school in eastern China; 2) To analyze the direct effects of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness; and 3) To investigate the joint influence of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness when included in the same model, and to identify the key predictors. This study adopted a quantitative cross-sectional design, and 352 valid samples were collected through simple random sampling using a 5-point Likert scale questionnaire. Data were analyzed using reliability and validity tests, Pearson correlation analysis, simple linear regression, and hierarchical multiple regression via SPSS 26.0. The findings showed that cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior all had significant positive effects on information protection effectiveness, with cybersecurity behavior having the strongest explanatory power. The three variables jointly explained 36.7% of the variance in information protection effectiveness, and an awareness–attitude–behavior gap was identified among the students. The study concludes that strengthening behavioral training, integrating cybersecurity education into curricula and institutional support, and promoting school-family-enterprise collaboration can effectively improve students' information protection effectiveness.

Keywords: Cybersecurity Awareness, Cybersecurity Attitude, Cybersecurity Behavior, Information Protection Effectiveness, Secondary Vocational School Students

Introduction

In recent years, internet use among minors in China has become almost universal. According to the latest report released by CNNIC, there were approximately 193 million underage internet users in China in 2022, and the internet penetration rate in this group reached 97.2% [1]. A considerable proportion of these minors experienced cybersecurity incidents such as account hijacking and malware infection in the preceding six months. This coexistence of digital dividends and security risks means that cybersecurity literacy and protection capabilities in cyberspace have become emerging priorities for both schooling and social governance.

At the same time, earlier exposure to the internet and "platformized" patterns of use have one hand, basic security skills and privacy-protective habits have not improved in tandem with usage frequency. For example, only about half of underage internet users are able to perform basic tasks such as registering/deleting accounts or changing passwords [1]. On the other hand, the social acceptance and practical effectiveness of single technical tools—such as parental controls or "youth modes"—remain limited; systematic coordination among platform governance, school-based education and family support is still needed [2]. International studies likewise indicate that the "human factor" has long been the weakest link in information security, and that enhancing awareness and training can significantly reduce high-risk behaviors such as using weak passwords or casually clicking suspicious links [3], [4]. Taken together, the structural tension of "high penetration–high exposure–lags in literacy and behavior" forms the practical backdrop for this study.

Against this background, students in secondary vocational schools exhibit several distinctive stage-specific characteristics. First, they are in a key transition from "learner" to "quasi-professional": while completing their studies, they also need to interact with enterprise-level information systems and campus business systems. Second, they frequently engage in practical training and skills competitions, which gives rise to diverse internet-use scenarios and complex account and data management. Building on these features, the present study focuses on students at a secondary vocational school in eastern China and examines the effects of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness.

The core research question of this study is: What are the effects of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness among secondary vocational school students? This question matters because, although the age and social experience of secondary vocational students are similar to those of upper-secondary school students, they are required to access school and enterprise information systems with relatively high privileges and at high frequency for skills training and internships. Improper cybersecurity practices may directly threaten individuals, schools, and partner enterprises [1]. At present, school-based cybersecurity education still relies mainly on lectures and campaign-style activities, and there is a lack of data-driven, locally grounded

research specifically targeting secondary vocational students. As a result, there is insufficient empirical evidence to inform curriculum design and management decisions by schools and education authorities. This study is expected to make contributions at three levels. At the school level, it will provide empirical evidence for designing targeted cybersecurity training at the secondary vocational school, thereby enhancing the security of the campus network and training platforms. At the vocational education system level, it will help fill the local empirical research gap on cybersecurity literacy among secondary vocational students and offer a reference point for education authorities when formulating cybersecurity education policies. At the academic level, drawing on TPB, PMT, and TAM, the study constructs and tests a direct-effect framework examining how awareness, attitude, and behavior independently and jointly affect information protection effectiveness [5], [6], [7]. This study contributes to the literature by offering empirical evidence from secondary vocational students, validating a direct-effects model within a high-risk educational context, and identifying a significant gap between awareness, attitude, and behavior in cybersecurity practice.

Research Objectives

1. To assess the current levels of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, cybersecurity behavior, and information protection effectiveness among students at the secondary vocational school.
2. To analyze the direct effects of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness.
3. To investigate the joint influence of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness when included in the same model, and to identify the key predictors.

This study empirically tests the following four hypotheses:

- H1: Higher levels of cybersecurity awareness are positively associated with better information protection effectiveness.
- H2: More positive cybersecurity attitude is positively associated with better information protection effectiveness.
- H3: More regulated (norm-compliant) cybersecurity behavior is positively associated with better information protection effectiveness.
- H4: When cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior are simultaneously included in the same model, they exert a significant joint positive predictive effect on information protection effectiveness.

Research Methodology

1. Research Design and Theoretical Framework

This study adopts a quantitative, cross-sectional, non-experimental design, with current students at the focal secondary vocational school as the research population. The conceptual model includes three independent variables—cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior—and one dependent variable—information protection effectiveness. The core objective is to test the effects of these variables on information protection effectiveness.

Figure 1 presents the conceptual framework of this study, illustrating the direct effects of cybersecurity awareness, attitude, and behavior on information protection effectiveness. Arrows denote the positive direct effects hypothesized in H1–H3, while the three variables collectively exert a significant joint positive predictive effect on information protection effectiveness (H4).

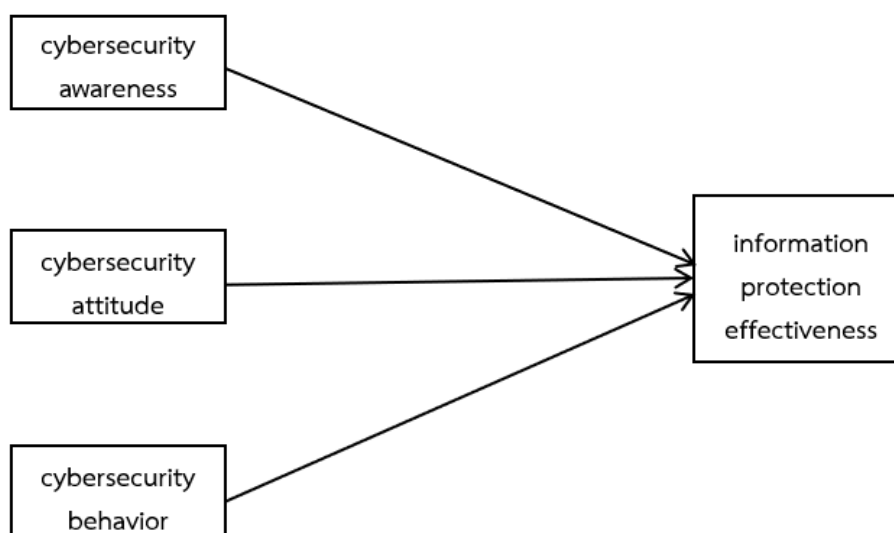


Figure 1 Conceptual framework of the direct effects of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness

The theoretical framework draws on three established theories. Protection Motivation Theory (PMT) explains individuals' protective decision-making mechanisms through threat appraisal and coping appraisal, providing support for the relationship between cybersecurity awareness and information protection effectiveness [8]. The Technology Acceptance Model (TAM) posits that perceived usefulness and perceived ease of use determine technology adoption intentions, supporting the hypothesized positive effect of cybersecurity attitude on outcomes [6]. The Theory of Planned Behavior (TPB) states that behavior is jointly driven by attitude, subjective norms, and perceived behavioral control, reinforcing the impact of attitude and behavior on outcomes [5].

This study adopts a regression-based approach as a baseline model. Future research may extend this model using SEM to examine mediation effects.

2. Participants and Sampling

The target population consists of current students enrolled at a secondary vocational school in eastern China. Inclusion criteria are: currently enrolled, providing consent to participate, and being able to complete the online questionnaire independently. Exclusion criteria are: duplicate submissions and clearly invalid responses.

This study adopts simple random sampling (SRS). SRS is appropriate for this study as it ensures equal probability of selection and reduces sampling bias across student groups. The sampling frame is a roster of currently enrolled students provided by the Academic Affairs Office. The sampling frame is randomly shuffled using a computer, and the online questionnaire link is distributed according to the randomized order. For students who do not respond by the deadline, invitations are extended to subsequent entries on the randomized list until the target number of valid responses is reached. The sampling list is used only to contact students; the questionnaire itself does not record identifiable information. A Cochran finite-population correction is used, and the target number of valid questionnaires is set at 352 to ensure the statistical power of subsequent factor analysis and regression analysis.

3. Questionnaire and Measures

The questionnaire includes four construct scales, all using 5-point Likert-type items (1 = "strongly disagree" to 5 = "strongly agree").

3.1 Cybersecurity Awareness

Dimensions measured include cognitive knowledge and risk perception, drawing on the cybersecurity awareness scale developed in [9]. The scale contains 8 items (including 1 reverse-coded item) focusing on confidentiality/privacy, phishing recognition, and strong passwords. Each item is scored from 1 to 5; the reverse-coded item is recoded as 6 minus original score; the mean of all items serves as the construct score.

3.2 Cybersecurity Attitude

The dimension measured is value evaluation of security norms and willingness to comply, based on the "perceived usefulness" dimension in TAM and the "attitude" dimension in TPB [5], [6]. The scale contains 8 items (including 1 reverse-coded item) adapted from [10]. Scoring follows the same procedure as awareness.

3.3 Cybersecurity Behavior

The dimension measured is everyday protective practices such as password management, two-factor authentication, caution with links and attachments, timely updates, privacy settings, and device hardening [11]. The scale contains 8 items (including 1 reverse-coded item) developed using Hadlington's Risky Cybersecurity Behaviours scale as reference [10].

3.4 Information Protection Effectiveness

The dimension measured is self-reported information protection outcomes over the past three months, including whether losses have been avoided, ability to identify and recover from incidents, and effectiveness of privacy protection [4]. The scale contains 8 items (including 1 reverse-coded item).

4. Pilot Study, Reliability, and Validity

A small-scale pilot test was conducted to examine the comprehensibility of questionnaire items. Based on feedback, item wording was adjusted to ensure appropriateness for the cognitive level of secondary vocational students. Content validity was assessed using the Index of Item-Objective Congruence (IOC) by three experts, with all items exceeding 0.67.

For the formal dataset, Cronbach's α is calculated for each subscale. Values between 0.70 and 0.95 are considered acceptable, with values ≥ 0.80 indicating good internal consistency. The Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) measure and Bartlett's test of sphericity are reported for each construct. KMO ≥ 0.60 and Bartlett's $p < 0.05$ indicate that the correlation matrix is suitable for multivariate analyses.

5. Data Collection Procedures and Ethics

This study was submitted to the school management committee for review, and data collection began only after formal approval was granted. Before data collection, students received a written informed consent form explaining the research purpose, participation rights, data confidentiality, and use of results. Only students who signed the consent form proceeded to the questionnaire.

From October to November 2025, the questionnaire was distributed and collected online via a survey platform (link/QR code). Participation was anonymous and voluntary. The expected completion time was 8–10 minutes. After data export, all records were de-identified before analysis.

6. Data Analysis

Data were analyzed using SPSS 26.0, with a significance level set at $p < 0.05$. The analytical procedures included: descriptive statistics (mean, standard deviation, minimum, maximum) and reliability analysis (Cronbach's α) to assess current levels and internal consistency; Pearson correlation analysis to examine linear relationships among variables; simple linear regression models to test H1–H3, with information protection effectiveness as the dependent variable and each predictor entered separately; hierarchical multiple regression to test H4, with behavior entered in Step 1, and awareness and attitude added in Step 2. Multicollinearity diagnostics (Tolerance, VIF) were conducted for the final model.

Overall, the research procedure consisted of questionnaire development, pilot testing, data collection, reliability and validity assessment, and statistical analysis.

Research Results

The findings are presented below in the same sequence as the research objectives: first, the current levels of the four constructs; second, the direct effects of cybersecurity awareness, attitude, and behavior on information protection effectiveness; and third, their joint influence in the same model.

1. Data Preprocessing and Sample Characteristics

A total of 352 valid questionnaires were obtained ($N = 352$). All items were scored on a five-point Likert scale. For data cleaning, the survey was administered by course instructors in a standardized manner. Anonymous responses and unified instructions were used. Routine quality checks were carried out after data collection; no questionnaires met the exclusion criteria.

Among the respondents, 213 were male (60.5%) and 139 were female (39.5%). There were 127 first-year students (36.1%), 116 second-year students (33.0%), and 109 third-year students (31.0%). The largest group were from electronics and information (123 students, 34.9%), followed by equipment manufacturing (92 students, 26.1%) and transportation (85 students, 24.1%). Finance and commerce (52 students, 14.8%) was relatively smaller. Overall, the sample distribution indicates that students from different grades and majors were adequately represented, supporting the reliability of subsequent statistical analyses.

Table 1 Distribution of Sample Background Characteristics ($N = 352$)

Variable	Category	Frequency (n)	Percentage (%)
Gender	Male	213	60.5
	Female	139	39.5
Grade	First year	127	36.1
	Second year	116	33.0
	Third year	109	31.0
Major	Electronics & IT	123	34.9
	Equipment Manufacturing	92	26.1
	Transportation	85	24.1
	Finance & Commerce	52	14.8

From Table 1, it can be seen that the respondents were drawn from different genders, grades, and majors, with a slightly higher proportion of male students and a relatively balanced representation across grade levels.

2. Reliability and Validity Testing

Internal consistency was assessed using Cronbach's α . The coefficients were 0.899 for awareness, 0.905 for attitude, 0.928 for behavior, and 0.908 for information protection effectiveness, all ≥ 0.80 , indicating good internal consistency. KMO values ranged from 0.918 to 0.928, and Bartlett's tests of sphericity were all significant ($\chi^2 = 1334.64\text{--}1925.07$, $df = 28$, $p < 0.001$), suggesting that the data were suitable for factor analysis.

Table 2 Reliability and KMO Test Results for the Main Variables

Construct	Cronbach's α	KMO Measure	Bartlett's χ^2 (df = 28)	p-value
cybersecurity awareness	0.899	0.927	1334.641	< 0.001
cybersecurity attitude	0.905	0.928	1452.208	< 0.001
cybersecurity behavior	0.928	0.922	1925.073	< 0.001
information protection effectiveness	0.908	0.918	1588.077	< 0.001

From Table 2, it can be seen that all variables achieved satisfactory reliability and validity levels, indicating that the data were appropriate for further statistical analysis.

3. Descriptive Statistics

Overall, all four means are above the midpoint of 3 on the five-point scale. cybersecurity attitude has the highest mean ($M = 3.79$, $SD = 0.63$), followed by cybersecurity awareness ($M = 3.62$, $SD = 0.69$) and information protection effectiveness ($M = 3.55$, $SD = 0.64$), whereas cybersecurity behavior has the lowest mean ($M = 3.33$, $SD = 0.68$).

Table 3 Descriptive Statistics for the Four Main Variables (N = 352)

Variable	Minimum	Maximum	Mean (M)	SD
cybersecurity awareness	1	5	3.62	0.69
cybersecurity attitude	1.25	5	3.79	0.63
cybersecurity behavior	1	5	3.33	0.68
information protection effectiveness	1.63	5	3.55	0.64

From Table 3, it can be seen that cybersecurity attitude recorded the highest mean score, while cybersecurity behavior showed the lowest mean score, indicating the existence of an awareness–attitude–behavior gap among the students.

4. Correlation Analysis

Pearson's correlation coefficients were computed with two-tailed tests. The results showed: cybersecurity awareness–cybersecurity attitude = 0.490, cybersecurity awareness–cybersecurity behavior = 0.395, cybersecurity awareness–information protection effectiveness = 0.395, cybersecurity attitude–cybersecurity behavior = 0.436, cybersecurity attitude–information protection effectiveness = 0.434, cybersecurity behavior–information protection effectiveness = 0.554. All correlations are statistically significant at $p < 0.001$. The correlation between behavior and information protection effectiveness is the strongest ($r = 0.554$).

These findings preliminarily support the proposed hypotheses and indicate that cybersecurity behavior may play the most influential role in predicting information protection effectiveness.

Table 4 Correlation Matrix for cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, cybersecurity behavior, and Information protection effectiveness (N = 352)

	cybersecurity awareness	cybersecurity attitude	cybersecurity behavior	information protection effectiveness
cybersecurity awareness	—	0.490	0.395	0.395
cybersecurity attitude	0.490	—	0.436	0.434
cybersecurity behavior	0.395	0.436	—	0.554
information protection effectiveness	0.395	0.434	0.554	—

From Table 4, it can be seen that all four variables were positively and significantly correlated with one another, while cybersecurity behavior exhibited the strongest relationship with information protection effectiveness.

5. Hypothesis Testing

5.1 Tests of H1–H3 (Simple Regression Models)

Hypothesis H1: Higher levels of cybersecurity awareness are positively associated with better information protection effectiveness. The regression results show that cybersecurity awareness has a significant positive effect on information protection effectiveness, with $\beta = 0.395$, $t = 8.045$, $p < 0.001$, supporting H1. The model has $R^2 = 0.156$.

Hypothesis H2: More positive cybersecurity attitude is positively associated with better information protection effectiveness. The regression results indicate that attitude has a significant positive predictive effect, with $\beta = 0.434$, $t = 9.014$, $p < 0.001$, supporting H2. The model has $R^2 = 0.188$.

Hypothesis H3: More regulated cybersecurity behavior is positively associated with better information protection effectiveness. The regression results reveal that behavior has the strongest positive effect, with $\beta = 0.554$, $t = 12.452$, $p < 0.001$, supporting H3. The model has $R^2 = 0.307$.

Overall, the simple regression results consistently demonstrate that cybersecurity awareness, attitude, and behavior each have significant positive effects on information protection effectiveness, with cybersecurity behavior showing the strongest explanatory power.

Table 5 Simple Regression Models Testing H1–H3

Predictor	β	t	p-value	F	R^2
cybersecurity awareness	0.395	8.045	< 0.001	64.723	0.156
cybersecurity attitude	0.434	9.014	< 0.001	81.260	0.188
cybersecurity behavior	0.554	12.452	< 0.001	155.063	0.307

From Table 5, it can be seen that cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior each had a significant positive effect on information protection effectiveness when examined separately, with cybersecurity behavior exhibiting the strongest explanatory power.

5.2 Test of H4 (Hierarchical Multiple Regression)

Hypothesis H4: When cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior are entered into the same model, they jointly have a significant positive predictive effect on information protection effectiveness.

In Step 1, cybersecurity behavior was entered as the baseline. In Step 2, cybersecurity awareness and cybersecurity attitude were added. When all three predictors are included in Model 2, cybersecurity awareness ($\beta = 0.140$, $p = 0.006$), cybersecurity attitude ($\beta = 0.183$, $p < 0.001$), and cybersecurity behavior ($\beta = 0.419$, $p < 0.001$) all remain positive and statistically significant. Within Model 2, behavior still has the largest effect size.

The model fit improves from $R^2 = 0.307$ (Model 1) to $R^2 = 0.367$ (Model 2), with an increase of $\Delta R^2 = 0.060$. The change in F is $\Delta F(2, 348) = 16.458$, $p < 0.001$, indicating that adding cybersecurity awareness and cybersecurity attitude significantly enhances the model's explanatory power. Collinearity diagnostics show no issues: minimum tolerance = 0.690, maximum VIF = 1.448, both well below the threshold of 5.

Table 6 Hierarchical Multiple Regression Models Testing H4

Model	Predictor	β	t	p	R ²	ΔR^2	F	Sig.
Model 1	cybersecurity behavior	0.554	12.452	< 0.001	0.307	—	155.063	< 0.001
Model 2	cybersecurity awareness	0.140	2.786	0.006	0.367	0.060	67.225	< 0.001
	cybersecurity attitude	0.183	3.560	< 0.001				
	cybersecurity behavior	0.419	8.604	< 0.001				

From Table 6, it can be seen that all three predictors remained statistically significant when entered into the same model and jointly explained 36.7% of the variance in information protection effectiveness, with cybersecurity behavior remaining the strongest predictor.

6. Summary of Hypothesis Testing Results

A summary of the hypothesis testing results is presented in Table 7. All four hypotheses were statistically supported, indicating that the proposed positive associations and joint predictive effect were confirmed by the data.

Table 7 Summary of Hypothesis Testing Results

Hypothesis	Content	Statistical Method	Key Statistics	Result
H1	Higher levels of cybersecurity awareness are positively associated with better information protection effectiveness	Simple Linear Regression	$\beta = 0.395$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.156$	Supported
H2	More positive cybersecurity attitude is positively associated with better information protection effectiveness	Simple Linear Regression	$\beta = 0.434$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.188$	Supported
H3	More regulated cybersecurity behavior is positively associated with better information protection effectiveness	Simple Linear Regression	$\beta = 0.554$, $p < 0.001$, $R^2 = 0.307$	Supported
H4	Joint positive predictive effect of the three constructs	Hierarchical Multiple Regression	$R^2 = 0.367$, $\Delta R^2 = 0.060$, $p < 0.001$	Supported

From Table 7, it can be seen that all four hypotheses were supported, indicating that cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior each had significant positive effects on information protection effectiveness, both individually and jointly.

Conclusion and Discussion

Conclusion

This study investigated the effects of cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior on information protection effectiveness among students at a secondary vocational school in China.

The findings indicate that students generally demonstrated moderate-to-high levels of cybersecurity awareness, attitude, behavior, and information protection effectiveness. Among the three predictors, cybersecurity behavior showed the strongest relationship with information protection effectiveness.

The hypothesis testing results confirmed that cybersecurity awareness, cybersecurity attitude, and cybersecurity behavior each had significant positive effects on information protection effectiveness. When entered simultaneously into the hierarchical regression model, all three variables remained significant predictors, jointly explaining 36.7% of the variance in information protection effectiveness.

The study therefore concludes that improving students' cybersecurity behavior, together with strengthening awareness and positive attitudes, can effectively enhance information protection effectiveness in secondary vocational education settings.

Discussion

The descriptive results provide a deeper look into the students' cybersecurity profiles. While students show a certain level of cybersecurity knowledge and risk perception, hold relatively positive attitudes toward complying with security requirements, and report reasonably good information protection outcomes, their cybersecurity behavior scores are clearly lower than those of awareness and attitude. This reflects a typical "awareness–attitude–behavior gap" [1], [2], indicating a noticeable gap between "knowing and valuing" and "actually doing" in everyday practice. For secondary vocational students, the challenge is no longer merely to tell them what is right or wrong, but to help them form stable secure behavior patterns.

The correlation results underscore the practical importance of students' proactive cybersecurity behaviors. Students who have a better understanding of cyber threats, who recognize the importance of security rules, and who adopt more standardized protective practices tend to experience fewer security incidents. These support the basic logic of the conceptual framework grounded in PMT, TAM, and TPB [5], [6], [8]. In particular, the finding that behavior is the strongest predictor suggests that the extent to which personal information can be well protected largely depends on students' concrete practices in areas such as password management, link verification, system updating, and privacy settings. The findings are consistent with previous research showing that human factors are often the weakest link in information security [3], [10].

They are also consistent with TPB, which posits that behavior directly determines outcomes. Compared with studies focusing on university students and general internet users [12], [19], the present findings further suggest that cybersecurity behavior may play an even more critical role among secondary vocational students. This may be related to their frequent exposure to practical training environments, enterprise systems, and semi-professional digital tasks, where improper security practices can directly affect information protection outcomes.

Even though awareness, attitude, and behavior jointly explain a meaningful proportion of the variance, a large part remains unexplained. This suggests that other factors may also play important roles, including school management policies, technical safeguards, platform designs, family supervision, peer norms, and individual characteristics such as self-control and risk preference [2], [4]. From a practical point of view, cybersecurity education should not rely solely on changing students' awareness and behavior; it also needs the support of institutional arrangements and technological measures. Additionally, this study is limited to a single institution, which may affect generalizability.

Finally, this study highlights the unique context of secondary vocational education. Compared with previous studies mainly focusing on general high schools or universities, it addresses the specific situation of secondary vocational students. These students often interact with school information systems, training equipment, and enterprise platforms in real or semi-real work environments. Weak cybersecurity habits in this context may affect not only personal accounts but also school networks and enterprise data. By empirically testing how awareness, attitude, and behavior jointly influence information protection effectiveness, this study provides localized evidence for integrating cybersecurity education into vocational programmes and underscores the importance of behavior-focused interventions.

Recommendations

1. Strengthening Cybersecurity Awareness

First, cybersecurity awareness should be integrated into existing courses through short, scenario-based learning materials focusing on password management, phishing recognition, privacy settings, and data backup.

2. Enhancing Cybersecurity Attitude

Second, schools should strengthen cybersecurity attitude by embedding it into professional competence education, student handbooks, and internship requirements, while encouraging positive reinforcement for good security practices.

3. Promoting Cybersecurity Behavior

Third, cybersecurity behavior should be the primary focus of training. Schools should create secure default environments, design task-based assessments that require protective actions, and organize practical drills to help students form stable security habits.

4. Strengthening Institutional Support and Collaboration

Finally, institutional support and multi-party cooperation should be enhanced through school–family–enterprise collaboration, school-level planning, and regular evaluation of students’ cybersecurity literacy and information protection effectiveness.

References

- [1] China Communist Youth League Central Committee Department of Youth Rights Protection, China Internet Network Information Center, “The 5th National Report on Minors’ Internet Use in China,” China Internet Network Information Center, Dec. 2023. [Online]. Available: <https://qnzz.youth.cn/qckc/202312/P020231223672191910610.pdf>
- [2] W. M. Ji and H. R. Wang, “Characteristics, problems, and governance strategies of minors’ internet use,” *Social Governance*, vol. 4, pp. 12–21, 2023.
- [3] R. Rohan et al., “A systematic literature review of cybersecurity scales assessing information security awareness,” *Heliyon*, vol. 9, no. 3, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14234>
- [4] M. Zwilling et al., “Cyber security awareness, knowledge and behavior: A comparative study,” *Journal of Computer Information Systems*, vol. 62, no. 1, pp. 82–97, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/08874417.2020.1712269>
- [5] I. Ajzen, “The theory of planned behavior,” *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 50, no. 2, pp. 179–211, 1991. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- [6] F. D. Davis, “Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology,” *MIS Quarterly*, vol. 13, no. 3, pp. 319–340, 1989.
- [7] D. Craigen, N. Diakun-Thibault, and R. Purse, “Defining cybersecurity,” *Technology Innovation Management Review*, vol. 4, no. 10, 2014. [Online]. Available: <https://timreview.ca/article/835>
- [8] J. E. Maddux and R. W. Rogers, “Protection motivation and self-efficacy: A revised theory of fear appeals and attitude change,” *Journal of Experimental Social Psychology*, vol. 19, no. 5, pp. 469–479, 1983. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(83\)90023-9](https://doi.org/10.1016/0022-1031(83)90023-9)
- [9] I. Arpaci, O. Aslan, and I. E. Oner, “Cybersecurity awareness scale (CSAS) for social media users: Development, validity and reliability study,” *Information Development*, p. 02666669251336562, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/02666669251336562>
- [10] L. Hadlington, “Employees attitude towards cyber security and risky online behaviours: An empirical assessment in the United Kingdom,” *International Journal of Cyber Criminology*, vol. 12, no. 1, pp. 269–281, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1467909>
- [11] A. Ertan, G. Crossland, C. Heath, D. Denny, and R. Jensen, “Cyber security behaviour in organisations,” arXiv preprint arXiv:2004.11768, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.11768>

-
- [12] L. Bognár and L. Bottyán, “Evaluating online security behavior: Development and validation of a personal cybersecurity awareness scale for university students,” *Education Sciences*, vol. 14, no. 6, p. 588, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/educsci14060588>
- [13] L. Huraj, T. Lengyelfalusy, A. Hurajová, and D. Lajčin, “Measuring cyber security awareness: A comparison between computer science and media science students,” *TEM Journal*, vol. 12, no. 2, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.18421/TEM122-05>
- [14] A. Lui, C. Womack, and P. Orton, “Collaborative online international learning as a third space to improve students’ awareness of cybersecurity,” *Education and Information Technologies*, vol. 30, no. 10, pp. 13835–13856, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13336-8>
- [15] X. Du and T. Chintakovid, “A survey of cybersecurity awareness among undergraduate students at Yunnan University of Finance and Economics in China,” in *Proceedings of the 2023 International Conference on Education, Knowledge and Information Management (ICEKIM 2023)*, X. Yuan et al., Eds., *Advances in Humanities and Communications*, vol. 13, pp. 740–753, Atlantis Press, 2023. [Online]. Available: https://doi.org/10.2991/978-94-6463-172-2_78
- [16] Y. Yang, J. Liu, and Y. Yang, “Research on China’s innovative cybersecurity education system oriented toward engineering education accreditation,” *Information*, vol. 16, no. 8, p. 645, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/info16080645>
- [17] J. Prümmer, T. van Steen, and B. van den Berg, “A systematic review of current cybersecurity training methods,” *Computers & Security*, vol. 136, p. 103585, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103585>
- [18] F. Schiliro, “Towards a contemporary definition of cybersecurity,” arXiv preprint arXiv:2302.02274, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.02274>
- [19] Q. An, W. C. H. Hong, X. Xu, Y. Zhang, and K. Kolletar-Zhu, “How education level influences internet security knowledge, behaviour, and attitude: a comparison among undergraduates, postgraduates and working graduates,” *International Journal of Information Security*, vol. 22, no. 2, pp. 305–317, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10207-022-00637-z>
- [20] G. A. Thomopoulos, D. P. Lyras, and C. A. Fidas, “A systematic review and research challenges on phishing cyberattacks from an electroencephalography and gaze-based perspective,” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 28, no. 3, pp. 449–470, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s00779-024-01794-9>

CYBERSECURITY AWARENESS AMONG PRIMARY AND SECONDARY SCHOOL TEACHERS IN FUJIAN PROVINCE, CHINA: PREDICTORS AND ENHANCEMENT RECOMMENDATIONS

Huang Zhan^{1*} and Songpon Nakharacruangsak²

Master of Science Program in Information Technology,
Faculty of Digital Technology and Innovation, Southeast Bangkok University^{1,2}
Author email: 2199897066@qq.com¹, Songpon@southeast.ac.th²

Received: April	9, 2026
Revised: May	25, 2026
Accepted: June	15, 2026

Abstract

Against the backdrop of limited empirical research on teachers' cybersecurity awareness, particularly concerning the role of training frequency, this study aims to: 1) assess the current level of cybersecurity awareness among primary and secondary school teachers in Fujian Province, China; 2) identify its key predictors; and 3) propose targeted recommendations for improvement.

A quantitative questionnaire survey was employed, yielding 321 valid responses, and the data were analyzed using statistical software. Results indicate that respondents had a moderately above-average overall cybersecurity awareness. Gender, age, school location, and training frequency significantly predicted awareness levels, whereas educational background and digital tool usage frequency showed no significant effects. Training frequency exhibited a significant diminishing marginal effect, with 1–2 annual sessions delivering the most cost-effective improvement. This research provides empirical support for developing standardized cybersecurity training for teachers, and its key contribution lies in quantifying the optimal training frequency and offering actionable policy implications.

Keywords: Cybersecurity Awareness, Teachers, Predictors, Cybersecurity Training, Fujian Province

Introduction

With the rapid digitalization of education, primary and secondary schools face increasing cybersecurity risks. Cyberattacks against educational institutions are rising worldwide [1]. In 2023, global ransomware attacks increased by 84%, and education services became one of the top 10 targeted industries because schools store large amounts of sensitive personal data [1,2,3]. Therefore, cybersecurity capacity is essential for maintaining educational stability and protecting privacy [4].

Teachers are the first line of campus cybersecurity defense and important guides for students' digital literacy [5]. However, studies show that teachers in digital educational environments still face cybersecurity and digital risk challenges, including insufficient awareness, protection skills, and emergency response preparation [6,7]. Although countries such as the United States have included cybersecurity training in teacher continuing education [8], empirical research in China remains limited, especially on training frequency and regional evidence from Fujian Province.

Fujian Province, a pioneer in China's Digital China initiative, reached a 98.7% digital penetration rate in primary and secondary schools by 2024. The wide use of online teaching platforms, student information systems, and smart campus devices has increased cybersecurity exposure. Low teacher awareness may lead to ransomware risks, student data breaches, and weak guidance for students' digital safety. To address these gaps, this research investigates teachers' cybersecurity awareness in Fujian Province, identifies key predictors, and proposes evidence-based enhancement recommendations. Its findings provide empirical support for improving teacher cybersecurity training in China.

Research Objectives

1. To assess the current level of cybersecurity awareness among primary and secondary school teachers in Fujian Province, China, and systematically quantify their performance across the three core dimensions of cybersecurity cognition, protection skills, and emergency response capability.
2. To identify the key predictors of teachers' cybersecurity awareness, and empirically test the effects of demographic characteristics, technical experience, training experience, and school location on teachers' overall awareness level and each dimensional performance.
3. To propose targeted enhancement recommendations for improving primary and secondary school teachers' cybersecurity awareness based on empirical findings and teacher cybersecurity training practices [8].

Research Methodology

A quantitative empirical research design was adopted for this study, combining descriptive and correlational methods alongside literature research. This approach allowed for a systematic investigation of cybersecurity awareness among primary and secondary school teachers in Fujian Province and its predictors.

1. Research Subjects and Sampling

The subjects were primary and secondary school teachers in Fujian Province, China. From September to November 2025, stratified random sampling was conducted in urban and rural public and private schools in Fuzhou, Xiamen, Putian, and Nanping. Schools were stratified by location and type, and teachers were randomly invited.

A total of 362 questionnaires were distributed, 353 were returned, and 321 valid responses were retained after excluding incomplete, repeated, or abnormal responses. The effective recovery rate was 88.67%.

2. Research Instrument

A self-developed cybersecurity awareness questionnaire was revised and localized based on ENISA cybersecurity awareness materials [9] and the HAIS-Q [10]. It included six sections: demographic information, cybersecurity cognition, prevention skills, response capability, training and educational experience, and self-assessment and needs. The three core dimensions each contained 10 items measured by a 5-point Likert scale.

Higher scores indicated stronger cybersecurity cognition, more standardized protective behaviors, and better response capability. A pre-test with 30 teachers was conducted before the formal survey. The overall Cronbach's Alpha was 0.92, and the KMO value was 0.927, indicating good reliability and validity.

3. Variable Definition and Measurement

Independent variables included gender, age, education level, school location, digital tool use frequency, and cybersecurity training frequency. For analysis, gender was coded as male = 1 and female = 2, school location as urban = 1 and rural = 2, while age and education level were coded by category. Digital tool use frequency and cybersecurity training frequency were treated as ordered variables.

The dependent variable was teachers' overall cybersecurity awareness, calculated as the total score of cybersecurity cognition, prevention skills, and response capability [11]. Each dimension contained 10 items, with scores ranging from 10 to 50; the total score ranged from 30 to 150, with higher scores indicating stronger overall cybersecurity awareness.

The conceptual framework of variable relationships is illustrated in Figure 1.

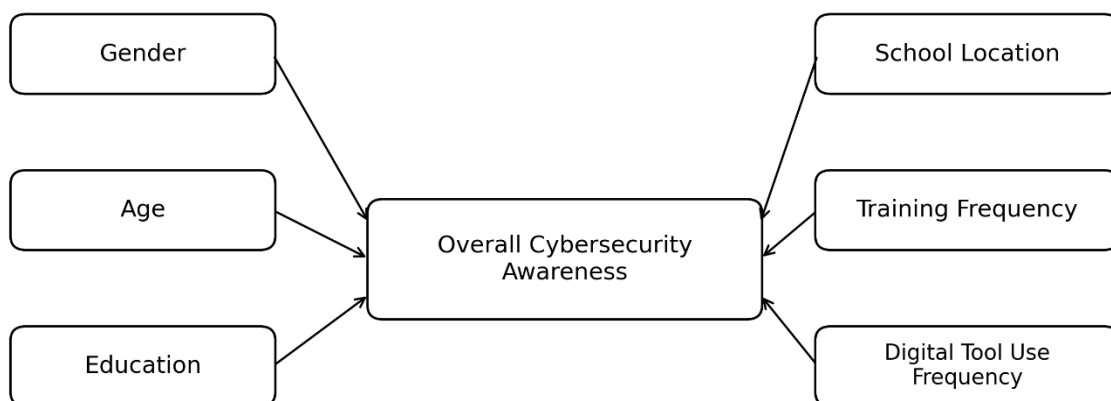


Figure 1. Conceptual Framework of Teachers' Cybersecurity Awareness Predictors.

4. Data Collection and Analysis

Questionnaires were collected online and offline. Participation was voluntary and anonymous, and academic ethics were followed.

Statistical software was used for analysis. Before inferential tests, normality, independence, and multicollinearity were examined. The methods included descriptive statistics, reliability and validity analysis, independent samples t-test, one-way ANOVA, Pearson correlation analysis, and multiple linear regression analysis.

Research Results

Statistical analysis was conducted based on 321 valid questionnaires from primary and secondary school teachers in Fujian Province, with an effective response rate of 88.67%. In line with the three research objectives, this section presents the preliminary analysis, the current level of teachers' cybersecurity awareness, the key predictors, and the empirical basis for enhancement recommendations.

5.1 Preliminary Analysis of the Sample and Research Instrument

Before addressing the research objectives, sample characteristics and scale quality were examined. As shown in Table 1, the valid respondents covered different genders, education levels, school locations, and cybersecurity training experiences, indicating acceptable sample representativeness.

Table 1 Demographic Characteristics of the Samples.

Variable	Frequency (n)	Percentage (%)
Gender		
Male	166	51.7
Female	155	48.3
Education Level		
Bachelor's degree or above	219	68.2
Below bachelor's degree	102	31.8
School Location		
Urban	191	59.5
Rural	130	40.5
Cybersecurity Training Experience		
Participated	144	44.9
Not participated	177	55.1
Total	321	100

The reliability and validity results are shown in Table 2. The overall Cronbach's Alpha was 0.92, and all dimensions exceeded the 0.70 threshold. The KMO value was 0.937, and Bartlett's test was significant at $p < 0.001$, suggesting that the questionnaire had good reliability and construct validity.

Table 2 Reliability and Validity Test Results.

Test Index	Criterion	Value	Result
Cronbach's α (Overall)	> 0.70 (Good)	0.92	Excellent
Cronbach's α (Awareness)	> 0.70 (Good)	0.913	Excellent
Cronbach's α (Prevention)	> 0.70 (Good)	0.923	Excellent
Cronbach's α (Emergency Response Capability)	> 0.70 (Good)	0.917	Excellent
KMO	> 0.60 (Suitable)	0.937	Very suitable
Bartlett's Test	$p < 0.001$	0	Significant

5.2 Findings Related to Research Objective 1: Current Level of Teachers' Cybersecurity Awareness

To address the first research objective, teachers' cybersecurity awareness was measured across three dimensions: cybersecurity cognition, protection skills, and emergency response capability. As shown in Table 3, the overall mean score was 112.76, indicating a slightly above-average level of cybersecurity awareness. Among the three dimensions, prevention skills scored the highest, while emergency response capability was relatively lower, suggesting that further improvement is needed in practical response skills.

Table 3 Overall Level of Teachers' Cybersecurity Awareness.

Dimension	Mean (M)	Standard Deviation (SD)	Evaluation
Cybersecurity Awareness	37.62	8.208	Slightly above average
Prevention Skills	37.7	8.544	Slightly above average
Emergency Response Capability	37.44	8.354	Slightly above average
Overall Total Score	112.76	24.562	Slightly above average

5.3 Findings Related to Research Objective 2: Key Predictors of Teachers' Cybersecurity Awareness

To address the second research objective, difference analysis, correlation analysis, and multiple regression analysis were conducted. As shown in Table 4, cybersecurity awareness differed significantly by gender, age, school location, and cybersecurity training experience, while education level showed no significant difference.

Table 4 Differences in Cybersecurity Awareness by Demographic Characteristics.

Variable	Group	n	Mean (M)	Standard Deviation (SD)	t/F	p	Significance
Gender	Male	166	117.39	23.12	4.831	<0.001	***
	Female	155	107.79	25.21			
Education Level	Bachelor's degree or above	219	113.25	24.87	0.741	0.478	ns
	Below bachelor's degree	102	111.72	24.03			
School Location	Urban	191	117.51	23.65	5.498	<0.001	***
	Rural	130	105.77	24.78			
Cybersecurity Training Experience	Participated	144	124.34	21.56	9.964	<0.001	***
	Not participated	177	103.28	23.89			
Age Group	≤25 years old	89	121.67	22.34	7.878	<0.001	***
	26–40 years old	156	113.42	24.15			
	41–55 years old	67	105.89	25.62			
	≥56 years old	9	102.11	26.78			

Note: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; ns = not significant

Pearson correlation analysis was conducted to examine the relationships among overall cybersecurity awareness, its three dimensions, training frequency, and teaching seniority. As shown in Table 5, overall cybersecurity awareness was positively correlated with cybersecurity cognition, protection skills, emergency response capability, and training frequency.

Table 5 Pearson Correlation Matrix of Variables.

Variable	1	2	3	4	5	6
1. Overall Cybersecurity Awareness	1					
2. Cybersecurity Cognition	0.892***	1				
3. Protection Skills	0.915***	0.786***	1			
4. Emergency Response Capability	0.873***	0.721***	0.794***	1		
5. Training Frequency	0.517***	0.380***	0.335***	0.405***	1	
6. Teaching Seniority	-0.146**	-0.152*	-0.174**	0.009ns	-	1

*Note. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; ns = not significant.

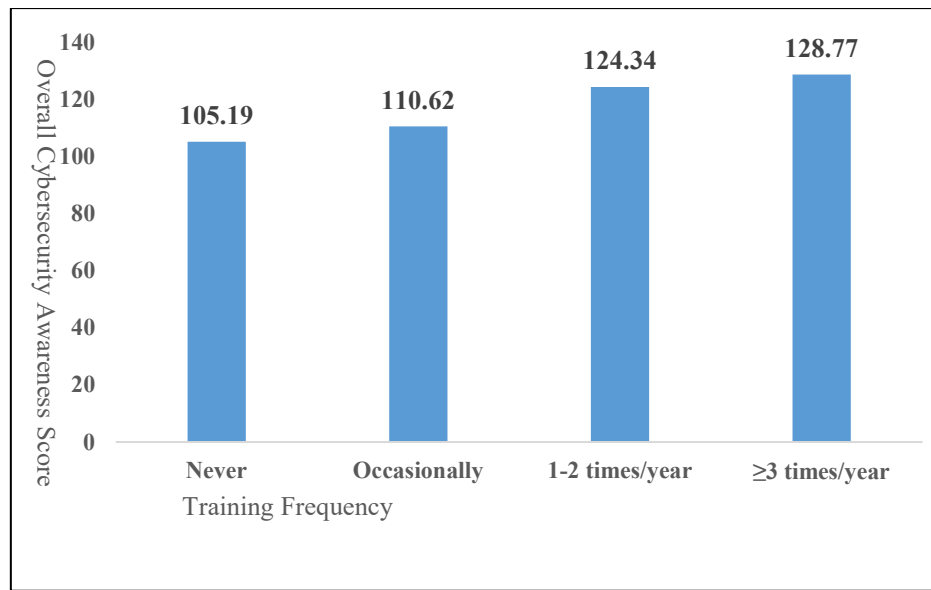


Figure 2 Overall Cybersecurity Awareness Scores by Training Frequency.

Figure 2 further illustrates the trend of overall cybersecurity awareness scores across different training frequencies.

As shown in Figure 2, awareness scores increased as training frequency increased, with a notable improvement among teachers receiving training 1–2 times per year.

To further identify the key predictors of teachers' cybersecurity awareness, multiple linear regression analysis was conducted. The results are shown in Table 6.

Table 6 Multiple Regression Analysis of Overall Cybersecurity Awareness.

Variable	Unstandardized β	Standardized β	t	p	VIF
(Constant)	125.059	-	23.232	<0.001***	-
Gender	-5.771	-0.159	-3.462	0.001***	1.056
Age	-3.064	-0.163	-3.594	<0.001***	3.077
Education Level	1.128	0.042	0.929	0.353ns	1.042
School Location	-7.358	-0.2	-4.292	<0.001***	1.073
Training Frequency	7.075	0.423	8.926	<0.001***	6.108
Frequency of Digital Tool Use	-0.527	-0.03	-0.668	0.504ns	1.029
Model Fit	$R^2 = 0.363$, Adjusted $R^2 = 0.350$, $F = 29.761$, $p < 0.001$ ***				

*Note. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; ns = not significant.

As shown in Table 6, the regression model was significant and explained 35.0% of the variance in teachers' cybersecurity awareness. Training frequency was the strongest predictor, followed by school location, age, and gender, while education level and digital tool use frequency were not significant predictors.

Table 7 Verification Results of Research Hypotheses.

Hypothesis Number	Hypothesis Content	Verification Result
H1	Teachers' technical experience is significantly positively correlated with their cybersecurity awareness	Not supported
H2	Teachers who have received cybersecurity training have significantly higher overall cybersecurity awareness than those who have not.	Strongly supported
H3	Teachers' educational background has a significant impact on their cybersecurity awareness	Not supported
H4	School location has a significant impact on teachers' overall cybersecurity awareness.	Supported
H5	Gender has a significant impact on teachers' overall cybersecurity awareness.	Supported

5.4 Findings Related to Research Objective 3: Empirical Basis for Enhancement Recommendations

To address the third research objective, recommendations were developed based on the empirical findings. Since training frequency was the strongest predictor, schools should establish a standardized annual cybersecurity training system, with 1–2 systematic sessions per year as a cost-effective baseline. As school location had a significant effect, more training resources should be allocated to rural schools. In addition, the relatively lower score of emergency response capability indicates the need for more scenario-based training, such as phishing email identification, ransomware response, student data leakage reporting, and emergency handling drills.

Overall, the results directly respond to the three research objectives: Table 3 presents the current level of teachers' cybersecurity awareness; Tables 4–7 identify the key predictors and verify the hypotheses; and the empirical findings provide evidence-based support for the proposed enhancement recommendations.

Conclusion and Discussion

1. Interpretation of Core Findings

The results show that cybersecurity training is the strongest predictor of teachers' cybersecurity awareness, highlighting the need for targeted training [8] and systematic teacher digital literacy development [12].

The findings align with PMT [13], as cybersecurity training may strengthen threat perception, response efficacy, and self-efficacy. The effect of school location is also consistent with TAM [14], since urban schools usually have better infrastructure and access to cybersecurity tools. Meanwhile, the non-significant effects of digital tool use and educational background suggest that general technology use and formal education are insufficient without targeted training, consistent with human factors cybersecurity research [15].

2. Theoretical Implications

This research supports the use of PMT [13], TAM [14], TPB [16], and SCT [17] to explain K-12 teachers' cybersecurity awareness. Systematic training can strengthen threat perception, protective motivation, perceived usefulness, and behavioral confidence. The differences by gender, age, and school location are consistent with prior findings [18].

Unlike previous studies [8,18,19], educational background and digital tool use frequency were not significant predictors. This suggests that general education and daily digital use do not necessarily improve cybersecurity awareness without targeted training. The findings clarify the boundary between technology use and cybersecurity awareness, and highlight the value of optimizing training frequency.

3. Practical Implications

The findings indicate that teacher cybersecurity awareness should be improved through systematic and targeted training. Since one-off cybersecurity awareness campaigns often fail to produce long-term behavioral change [20], education authorities should establish an annual training system.

Training resources should prioritize rural schools to narrow the urban-rural gap and strengthen rural teachers' digital literacy support [21]. Schools should also integrate 1–2 systematic cybersecurity training sessions per year into continuing education and strengthen teachers' role in building a collaborative protection system among teachers, students, schools, and families.

4. Limitations and Future Research

This research is limited by its regional sample from Fujian Province and its use of only quantitative methods. Future studies should expand the sample scope, adopt mixed methods, and use longitudinal designs to examine the long-term effects of different cybersecurity training modes.

Recommendation

1. schools should establish a standardized annual cybersecurity training system. Based on the findings, 1–2 systematic training sessions per year may serve as a cost-effective baseline. The training content should cover phishing identification, password management, data backup, and emergency reporting.
2. more cybersecurity training resources should be allocated to rural schools. Education authorities may provide shared online courses, regional training programs, urban-rural paired assistance, and remote technical support to reduce the urban-rural gap in teachers' cybersecurity literacy.
3. scenario-based training should be strengthened, especially in emergency response. Schools may organize practical drills on phishing email disposal, ransomware response, student data leakage reporting, and infected-device isolation to improve teachers' practical response capability.
4. differentiated training programs should be provided for teachers of different age groups and technical backgrounds. For older teachers, training should focus on basic risk identification and step-by-step emergency procedures. For younger teachers, training may emphasize advanced threat cases, privacy protection, and student guidance in digital environments.
5. teachers' cybersecurity literacy should be integrated into the overall campus cybersecurity education system. Schools may build a collaborative mechanism involving teacher training, student cybersecurity classes, parent-school communication, regular risk reminders, and campus cybersecurity culture construction to form a full-coverage protection system.

References

- [1] Flashpoint, *2024 Global Threat Intelligence Report*. New York, NY, USA: Flashpoint, 2024. [Online]. Available: <https://flashpoint.io/resources/report/2024-global-threat-intelligence-report/>
- [2] European Union Agency for Cybersecurity (ENISA), *ENISA Threat Landscape 2024*. Athens, Greece: ENISA, Sep. 2024, doi: 10.2824/0710888.
- [3] K. Qi, "A research on the application of virtual network technology in computer network security," *Journal of Electronic Research and Application*, vol. 6, no. 4, pp. 1–6, 2022, doi: 10.26689/JERA.V6I4.4153.
- [4] Z. Wang and T. Cheng, "Practical strategies and guarantee mechanisms for cybersecurity literacy education for primary and secondary school students in the United States," *Journal of Teacher Education*, vol. 10, no. 1, pp. 100–108, Jan. 2023. DOI: 10.13718/j.cnki.jsjy.2023.01.012
- [5] H. F. Sapanca and S. Kanbul, "Risk management in digitalized educational environments: Teachers' information security awareness levels," *Frontiers in Psychology*, vol. 13, Art. no. 986561, Aug. 2022. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.986561
- [6] W. Chen, Y. He, X. Tian, and W. He, "Exploring cybersecurity education at the K-12 level," in *Proc. SITE Interactive Conf.*, E. Langran and D. Rutledge, Eds., Charlottesville, VA, USA: Association for the Advancement of Computing in Education, 2021, pp. 108–114.

-
- [7] Q. Zhao and L. Dai, "Digital risks for teachers in the digital age and the way to avoid them," *Journal of Teacher Education*, vol. 11, no. 5, pp. 40–48, Sep. 2024, DOI: 10.13718/j.cnki.jsjy.2024.05.005.
- [8] C. Mourning, H. Chenji, A. Hallman-Thrasher, S. Kaya, N. Abukamail, D. Juedes, and A. Karanth, "Reflections of cybersecurity workshop for K-12 teachers," in *Proc. 54th ACM Tech. Symp. Comput. Sci. Educ. (SIGCSE)*, New York, NY, USA, 2023, pp. 987–993. DOI: 10.1145/3545945.3569761
- [9] European Union Agency for Cybersecurity (ENISA), *ECSM 2022 Campaign Report*. Athens, Greece: ENISA, Mar. 2023, DOI: 10.2824/36758.
- [10] K. Parsons, A. McCormac, M. Butavicius, M. Pattinson, and C. Jerram, "Determining employee awareness using the Human Aspects of Information Security Questionnaire (HAIS-Q)," *Computers & Security*, vol. 42, pp. 165–176, May 2014, DOI: 10.1016/j.cose.2013.12.003.
- [11] Ministry of Education of the People's Republic of China, "Teacher digital literacy (industry standard)," Official Standard Document, 2022. [Online]. Available: https://www.moe.gov.cn/s78/A10/s5669/202203/t20220329_619320.html
- [12] Y. Cen, "Teacher digital literacy cultivation: Practical dilemmas and global actions," *Journal of Teacher Education*, vol. 11, no. 4, pp. 38–46, Jul. 2024, DOI: 10.13718/j.cnki.jsjy.2024.04.005.
- [13] R. W. Rogers, "A protection motivation theory of fear appeals and attitude change," *Journal of Psychology*, vol. 91, no. 1, pp. 93–114, Jan. 1975. DOI: 10.1080/00223980.1975.9914308
- [14] F. D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology," *MIS Quarterly*, vol. 13, no. 3, pp. 319–340, Sep. 1989. DOI: 10.2307/249008
- [15] A. Pollini, T. C. Callari, A. Tedeschi, D. Ruscio, L. Save, F. Chiarugi, and D. Guerri, "Leveraging human factors in cybersecurity: An integrated methodological approach," *Cognition, Technology & Work*, vol. 24, no. 2, pp. 371–390, May 2022. DOI: 10.1007/s10111-021-00683-y
- [16] I. Ajzen, "The theory of planned behavior," *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, vol. 50, no. 2, pp. 179–211, Feb. 1991. DOI: 10.1016/0749-5978(91)90020-T
- [17] A. Bandura, *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1986.
- [18] R. Ravichandran, S. Singh, and P. Sasikala, "Exploring school teachers' cyber security awareness, experiences, and practices in the digital age," *Journal of Cybersecurity Education, Research and Practice*, vol. 2025, no. 1, pp. 1–27, Jan. 2025. DOI: 10.62915/2472-2707.1214
- [19] O. S. Ahmed, A. Z. Al Rawashdeh, A. R. Al Arab, A. S. Ahmed, S. A. Nasef, and E. M. Abd elrahman, "The impact of school teachers awareness of student cyber security," *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, vol. 22, no. 2, pp. 17371–17380, 2024, DOI: 10.57239/PJLSS-2024-22.2.001264.
- [20] M. Bada, A. M. Sasse, and J. R. C. Nurse, "Cyber security awareness campaigns: Why do they fail to change behaviour?," in *Proc. Int. Conf. Cyber Security for Sustainable Society (CSSS)*, Coventry, U.K., 2015, pp. 118–131.

ESSENTIAL NETWORK TECHNOLOGY COMPETENCIES OF VOCATIONAL STUDENTS IN PUTIAN, CHINA UNDER THE SMART INDUSTRY CONTEXT: A COMPETENCY GAP ANALYSIS

Weng Chaoye^{1*} and Sudasawan Ngammongkolwong²

Master of Science Program in Information Technology,
Faculty of Digital Technology and Innovation, Southeast Bangkok University^{1,2}
Author email: 1941788726@qq.com^{1*}, sudasawan@southeast.ac.th²

Received: April 2, 2026
Revised: May 20, 2026
Accepted: June 12, 2026

Abstract

Against the backdrop of China's "Made in China 2025" national strategy and the accelerating intelligent transformation of manufacturing industries, vocational education faces a critical challenge of aligning talent training with rapidly evolving industry demands. In Putian, China's renowned "Shoe Capital", the rapid development of intelligent footwear, electronics and equipment manufacturing industries has created an urgent need for skilled network technology professionals, yet a significant competency gap persists between vocational graduates and enterprise requirements. This study aims to 1) construct a three-dimensional competency framework for network technology students integrating national teaching standards and Putian's local industrial context 2) analyze the competency gaps between students' current abilities and both national teaching standards and enterprise demands 3) propose targeted curriculum optimization strategies to enhance competency-job alignment. A cross-sectional quantitative research design was employed. Data were collected from 400 valid respondents including vocational students and graduates through structured questionnaires. Descriptive statistics, one-sample t-tests, independent samples t-tests, and Pearson correlation analysis were used to test four research hypotheses. The results indicate that students' technical skills ($M=3.09$) and professional qualities ($M=3.35$) slightly exceed the national teaching standard (3 points), while advanced industrial scenario skills ($M=3.01$) do not reach the required benchmark. Furthermore, participation in school-enterprise cooperative training significantly improves students' advanced industrial scenario skills ($p<0.001$). The acquisition of "1+X" vocational certificates significantly increases graduates' job-major matching degree ($p<0.001$). Curriculum-industry alignment shows a strong negative correlation with job adaptation period ($r=-0.786$, $p<0.001$). The findings provide empirical evidence for regional vocational education curriculum reform and deeper industry-education collaboration under the global smart industry transformation.

Keywords: Smart Industry, Network Technology, Vocational Education, Competency Framework, School-Enterprise Collaboratin.

Introduction

Made in China 2025 (MIC 2025), China's national strategy to build a global manufacturing powerhouse, focuses on integrating new-generation information technology with manufacturing [1]. As the foundation of intelligent industries, network technology is critical for industrial digitalization and upgrading. However, compared with Germany's mature "dual system" vocational education, China's vocational colleges face prominent talent training mismatches: students' practical skills fail to meet the Teaching Standards for Computer Network Technology Major in Higher Vocational Education (hereinafter "Teaching Standards") or enterprise needs, leading to a structural talent supply-demand contradiction [2]. Germany achieves skill-industry alignment via vocational education investment, 70% enterprise-participated curriculum development [3], and standardized certification, while China's vocational education lacks adaptive regional scenario training and synchronous course updates.

Putian, the "Shoe Capital of China", is accelerating the intelligent transformation of its three pillar industries (footwear and apparel, electronic information, high-end equipment) under MIC 2025. Preliminary 2025 research reveals local bottlenecks: insufficient intelligent equipment networking, a major network technology talent gap, and poor professional relevance of vocational graduates. Against the Teaching Standards, Putian vocational schools have three core shortcomings: insufficient curriculum coverage of core content; limited industrial-level training cases; and inadequate school-enterprise collaboration, resulting in students' weak adaptability to real industrial scenarios.

Research Scope

Geographic scope: Putian City, focusing on its three intelligent industrial clusters, with Fujian Meizhou Bay Vocational and Technical School as the core. Target group: 2023-2025 network technology students from 5 Putian public vocational schools, and personnel from 5 local intelligent enterprises, focusing on Meizhou Bay Vocational and Technical College's Information Engineering Department. Competency scope: Technical skills (aligned with the Teaching Standards), advanced industrial scenario skills, and professional qualities. Timeframe: 2023-2025, combined with local industrial internet construction and industry-education consortium operation.

Definition of Core Concepts

Intelligent industry: A new system centered on AI, industrial internet, IoT, automation and edge computing, applied in footwear and apparel, electronics, intelligent logistics, etc.

Essential Network Technology Competencies: Based on the Teaching Standards, a "knowledge-skills-qualities" system for typical work tasks, divided into technical skills, advanced industrial scenario skills, and professional qualities.

Municipal industry-education consortium: A government-led, college-enterprise collaborative talent training mechanism based on local industry needs and the Teaching Standards [4].

"1+X" certificates: The full designation is "Academic Credential + Multiple Vocational Skill Level Certificates," wherein "1" represents the academic credential and "X" represents the multiple vocational skill level certificates. Aimed at enhancing students' vocational skills and employability, this initiative constitutes a key reform measure and major innovation within China's *Implementation Plan for National Vocational Education Reform*.

Skill mismatch theory: Germany's "dual system" achieves high skill coverage via deep enterprise curriculum involvement, while Chinese vocational schools have skill mismatches due to insufficient school-enterprise training [5].

Dynamic Capability Framework: Intelligent industry requires a three-dimensional competency model ("technical skills - advanced industrial scenario skills - professional qualities"), consistent with Industry 4.0's "interdisciplinary technical + soft skills" requirements.

Relevant Literature

National policies: MIC 2025 and "Opinions on Deepening the Reform of the Modern Vocational Education System" emphasize vocational education-industry alignment. The Teaching Standards define computer network technology training objectives and core skills, providing a policy basis. Regional research shows Putian vocational schools lack industrial-level skills training, with practical cases disconnected from enterprises and the Teaching Standards. International-domestic experience: Germany's "dual system" relies on enterprise curriculum involvement; domestic research shows 72-hour short micro-courses improve vocational students' technical skill mastery [6]. Existing studies confirm that "1+X" certificate alignment with industry needs and the Teaching Standards enhances graduates' employment competitiveness, forming a "literature-standards-framework-path" theoretical connection.

Conceptual Framework

Based on the literature review and research hypotheses, this study develops a conceptual framework explaining the relationships between instructional factors, student competencies, and employment outcomes. Independent variables include school-enterprise cooperative training, "1+X" certificate acquisition, and curriculum-industry alignment. These influence the mediating variable (student competencies: technical skills, advanced industrial scenario skills, professional qualities), which further affects employment outcomes (job-major matching degree, job adaptation period). The conceptual framework of this study is illustrated in Figure 1.

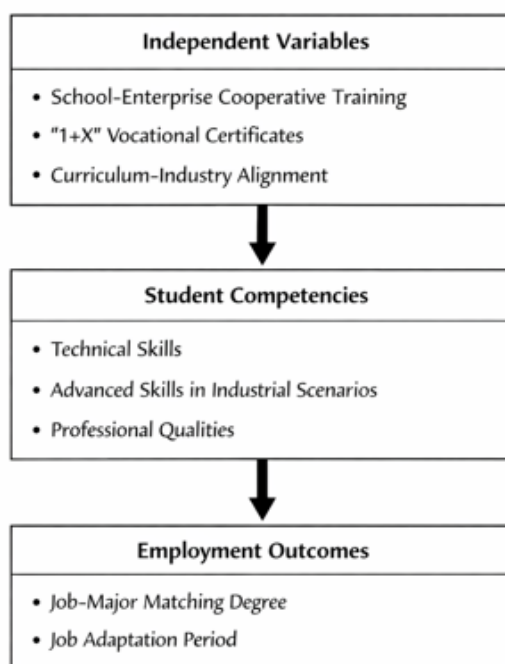


Figure 1 Conceptual Framework

Research objectives

Based on the national teaching standards for computer network technology majors and the talent competency demands of Putian's intelligent manufacturing industry, this study focuses on full-time students and graduates majoring in computer network technology from local secondary vocational schools in Putian. Three logically ordered and empirically supported research objectives are proposed as follows:

Table 1 Prioritized Research Objectives

Priority	Specific Research Objective
1	Construct a three-dimensional competency framework covering technical skills, advanced industrial scenario skills and professional qualities by combining national teaching standards and Putian local industrial demands, forming dual evaluation criteria for competency assessment.
2	Quantitatively analyze students' competency gaps with reference to the 3-point national teaching benchmark and 4-point enterprise employment benchmark across three competency dimensions.
3	Propose three curriculum optimization schemes including modular curriculum design, school-enterprise training and "1+X" certificate integration, and verify their effects on improving post matching and shortening job adaptation cycle.

Table 1 lists three research objectives sorted by research priority in the order of framework construction, gap analysis and curriculum optimization. The objectives are designed based on national vocational teaching specifications and Putian local intelligent manufacturing industry talent requirements.

Research Questions

1. Competency Compliance Status Assessment

Does the current competence of computer network technology students in Putian vocational colleges meet the requirements of teaching standards and the actual needs of enterprises, within the three-dimensional framework of "technical skills (core competencies aligned with teaching standards - advanced skills in industrial scenarios (adapting to Putian industries - professional qualities))"?

2. School-Enterprise Training and Advanced Skill Development

Can participating in the joint construction of training bases by schools and enterprises (which meet the requirements of teaching standards and internship sites) significantly improve students' mastery of advanced skills (such as industrial protocol parsing and edge computing deployment)?

3. "1+X" Certificates and Employment Matching

Does obtaining the "1+X" certificate recommended by the teaching standards (such as network system construction and operation and maintenance, cloud computing platform operation and maintenance and development) improve the match between graduates and their job positions?

4. Curriculum Fit and Job Adaptation Cycle

a negative correlation between the alignment of course content with industry needs and teaching standards and the students' job adaptation period (i.e., the higher the alignment, the shorter the adaptation period)?

Research Hypotheses

Based on preliminary research, the following hypotheses are proposed:

H1: Putian vocational computer network technology students' average three-dimensional competency score meets the Teaching Standards (3 points) but is lower than enterprise core position requirements (4 points).

H2: Students participating in school-enterprise joint training bases (meeting the Teaching Standards' internship requirements) have a higher mastery rate of advanced industrial scenario skills than non-participants.

H3: Graduates with "1+X" certificates have a higher job-major matching degree than those without.

H4: Course alignment with Putian's intelligent industry needs and the Teaching Standards is negatively correlated with graduates' job adaptation period.

Research Methodology

This study adopted a cross-sectional quantitative design with stratified random sampling. Descriptive and inferential statistics were applied to verify the four research hypotheses.

1. Population and Sampling Methods

Population: The population included approximately 1,200 computer network technology-related students from 5 public vocational colleges in Putian (2023–2025), and 10 personnel from 5 local intelligent enterprises (e.g., Three Trees, Huafeng Industry and Trade).

Sample and Sampling Methods: **Student Sample:** Stratified random sampling was adopted, with 200 students selected (100 from Meizhou Bay Vocational College and 25 from each of the other 4 colleges). Meizhou Bay Vocational and Technical College is the largest vocational college in Putian with the largest number of computer network technology students (accounting for approximately 50% of the total number of students in the city), so 100 students were selected from it. **Enterprise Sample:** Purposive sampling was used to select 5 representative enterprises covering footwear, electronics, and equipment manufacturing. **Graduate Sample:** 200 graduates were randomly selected for a career development tracking survey.

2. Research Tools

Student Skills Assessment Scale: Designed based on teaching standards and enterprise needs, covering three dimensions (Technical Skills, Advanced Skills in Industrial Scenarios, Professional Qualities) with a 5-point Likert scale (1 = no knowledge, 5 = highly proficient).

Enterprise Needs Survey Questionnaire: Based on teaching standards, focusing on enterprise industry, job skill requirements, and new employee competency evaluation, using a 5-point Likert scale.

Graduate Career Development Tracking Survey Questionnaire: Covering on-campus status, current employment status, and competency feedback.

3. Tool Inspection

Reliability: A pre-test (n=50) was conducted; Cronbach's $\alpha \geq 0.7$ (reliable) for scales/questionnaires, and cross-coder reliability ≥ 0.8 for interview outlines. **Validity:** Three vocational education experts reviewed content validity; factor analysis (eigenvalues > 1) confirmed the construct validity of the skills assessment scale.

4. Data Collection

Table 2 Data Collection Process

Stage	Time Period	Data Collected	Method
T1	Sep–Nov 2025	Student competency assessment and enterprise needs survey	Paper and online questionnaires
T2	Dec 2025–Jan 2026	Graduate career development tracking and follow-up competency evaluation	Online survey and HR data

Table 2 illustrates the two-stage data collection process of this study, including the time periods, types of data collected, and corresponding data collection methods. Data were collected in two stages: the first focused on student competencies and enterprise needs, and the second tracked graduates' career development and job adaptation.

5. Variable Types

Table 3 Variables and Measurement Scales

Variable Type	Variable	Operational Definition	Measurement Scale
Independent Variable	School–Enterprise Cooperative Training	Participation in enterprise training programs during study	Yes / No
Independent Variable	“1+X” Vocational Certificate	Whether the student obtained a national vocational certificate	Yes / No
Independent Variable	Curriculum–Industry Alignment	Degree to which courses match industry needs	Likert scale (1–5)
Dependent Variable	Technical Skills	Ability in network configuration, security, and Linux systems	Likert scale (1–5)
Dependent Variable	Advanced Industrial Skills	Industrial protocol analysis and intelligent manufacturing networking	Likert scale (1–5)
Dependent Variable	Professional Qualities	Teamwork, problem solving, and learning ability	Likert scale (1–5)
Outcome Variable	Job–Major Matching	Alignment between graduate job and major	Ordinal scale
Outcome Variable	Job Adaptation Period	Time required for independent job performance	Months

Table 3 presents the variables and measurement scales used in this study, covering independent variables, dependent variables, and outcome variables with their operational definitions and measurement standards.

6. Statistical Methods

Descriptive statistics: Calculated mean, standard deviation, and percentage to describe data distribution.

Inferential statistics: One-sample t-test (verify H1, comparing competency scores with teaching/enterprise standards); independent samples t-test (verify H2, school-enterprise training effect; H3, “1+X” certificate effect); Pearson correlation analysis (verify H4, relationship between curriculum alignment and job adaptation period).

Research Results

This section presents data quality, descriptive statistics, hypothesis verification results, and their theoretical implications based on the research framework.

1. Sample, Data Quality and Descriptive Statistics

A total of 453 questionnaires were collected, with 400 valid ones (200 current students, 89.7% valid rate; 200 graduates, 87.0% valid rate). Among current students, 96 participated in school-enterprise training and 104 did not; 103 held "1+X" certificates and 97 did not. The sample was well-represented, with graduates mainly employed in Putian's intelligent industries. Missing values ($\leq 3.2\%$) were handled by sequence mean replacement; 2 data entry errors were corrected, and no extreme outliers were found.

2. Reliability and Validity Analysis

Table 4 Reliability Analysis of Competency Scale

Dimension	Cronbach's Alpha	Project-total score correlation range	Range of α coefficients after item deletion	evaluate
Technical Skills	0.893	0.714-0.767	0.863-0.875	excellent
Advanced Industrial Skills	0.895	0.735-0.785	0.858-0.876	excellent
Professional Qualities	0.753	0.560-0.609	0.641-0.686	Acceptable

Table 4 presents the internal consistency reliability results of the three-dimensional competency scale. All Cronbach's α coefficients exceed the acceptable threshold of 0.70, with technical skills and advanced industrial skills dimensions reaching excellent reliability levels ($\alpha > 0.89$). All item-total correlations are above 0.5, and deleting any item would reduce the overall α coefficient, indicating no items need to be removed and the scale has good internal consistency.

Table 5 Results of Exploratory Factor Analysis

Dimension	KMO value	Bartlett's test (χ^2)	df	p - value	Number of extracted factors	Cumulative variance explained (%)	Factor loading coefficient range	Commonality range
Technical skills	0.878	539.549	10	0.000	1	70.148	0.819-0.859	0.670-0.738
Advanced skills in industrial scenarios	0.843	459.225	6	0.000	1	76.040	0.850-0.883	0.723-0.780
Professionalism	0.691	141.053	3	0.000	1	67.054	0.810-0.836	0.656-0.700

Table 5 shows the exploratory factor analysis results for structural validity testing. All KMO values are greater than 0.6, and Bartlett's test of sphericity is significant at the $p < 0.001$ level, confirming the data is suitable for factor analysis. Each dimension extracts exactly one factor, consistent with the theoretical framework. The cumulative variance explained exceeds 67% for all dimensions, and all factor loadings are above 0.81, demonstrating excellent structural validity of the scale.

3. Descriptive Statistical Analysis

Table 6 Descriptive Statistics of Student Competencies

Variable	N	Mean	S.D.
Technical Skills	200	3.089	0.682
Advanced Skills in Industrial Scenarios	200	3.014	0.751
Professional Qualities	200	3.347	0.611
Curriculum-Industry Alignment	200	3.210	0.645
Job-Major Matching Degree	200	2.014	0.938
Job Adaptation Period (months)	200	4.86	1.73

Table 6 reports the descriptive statistics of students' competencies and employment-related indicators, including the number of samples, mean values, and standard deviations. Professional qualities had the highest mean, while advanced industrial skills had the lowest mean and highest variability. Graduates' average job adaptation period was 4.86 months, with curriculum-industry alignment and job-major matching degree at medium levels.

4. Hypothesis Testing and Result Analysis

4.1 H1 Test: Analysis of the Compliance Status of Three-Dimensional Capabilities

Table 7 One-Sample t-Test (H1)

Variable	Mean	Test Value	t	p-value
Technical Skills	3.089	3	2.470	0.014
Advanced Industrial Skills	3.014	3	0.259	0.796
Professional Qualities	3.347	3	8.458	<0.001
Technical Skills	3.089	4	-14.03	<0.001
Advanced Industrial Skills	3.014	4	-18.65	<0.001
Professional Qualities	3.347	4	-11.82	<0.001

Table 7 presents the one-sample t-test results used to verify Hypothesis 1, comparing students' competency levels with the national teaching standard and enterprise requirement. H1 is partially verified: Technical skills ($p < 0.05$) and professional qualities ($p < 0.001$) exceeded the 3-point teaching standard, while advanced industrial skills did not ($p = 0.796$). All dimensions were significantly lower than the 4-point enterprise standard ($p < 0.001$), consistent with situated learning theory (advanced skills require real enterprise practice).

4.2 H2 & H3 Test: Effects of School-Enterprise Training and "1+X" Certificate

Table 8 Independent Samples t-Test (H2 & H3)

Effect of School-Enterprise Training on Industrial Skills

Group	N	Mean	SD
Participated	96	3.326	0.601
Not participated	104	2.726	0.698

Effect of "1+X" Certificate on Job Matching

Group	N	Mean	SD
Certificate holders	103	2.60	0.91
Non-holders	97	1.28	0.87

Table 8 shows the independent samples t-test results for verifying Hypothesis 2 and Hypothesis 3, examining the effects of school-enterprise training and "1+X" certificates. H2 is fully verified: Students in school-enterprise training had significantly higher advanced industrial skills ($M = 3.326$ vs. 2.726 , $t = 6.141$, $p < 0.001$), confirming situated learning theory. H3 is fully verified: Graduates with "1+X" certificates had higher job-major matching ($M = 2.60$ vs. 1.28 , $t = 19.012$, $p < 0.001$), supporting signaling theory.

4.3 H4 Test: Relationship between Course Fit and Job Adaptation Cycle

Table 9 Pearson Correlation Matrix (H4)

Variables	1	2	3
Curriculum–Industry Alignment	1		
Job Adaptation Period	-0.786***	1	
Job–Major Matching	0.462***	-0.531***	1

***p < 0.001

Table 9 displays the Pearson correlation matrix for testing Hypothesis 4, revealing the relationships among curriculum-industry alignment, job adaptation period, and job-major matching degree. H4 is fully verified: Curriculum-industry alignment had a strong negative correlation with job adaptation period ($r=-0.786$, $p<0.001$), robust via Spearman test ($r=-0.810$, $p<0.001$), consistent with skill mismatch theory.

Table 10 Corresponding Empirical Research Findings

Item	Specific Research Finding
Finding 1 (Match Priority 1)	The dual-standard three-dimensional competency framework is applicable to local student evaluation, overcoming the limitations of relying solely on national standards for competency assessment.
Finding 2 (Match Priority 2)	H1 receives partial empirical support. Students' technical skills and professional qualities exceed national benchmarks; however, advanced industrial scenario skills remain below both national and enterprise expectations.
Finding 3 (Match Priority 3)	H2, H3, and H4 receive strong empirical support. School–enterprise training, “1+X” certification integration, and curriculum–industry alignment significantly improve job-major matching and reduce graduates' workplace adaptation period.

***p < 0.001

Table 10 presents empirical findings corresponding one-to-one with the three prioritized research objectives in Table 1. All findings are concluded from questionnaire data and statistical hypothesis testing results.

Conclusion and Discussion

Against the context of MIC 2025 regional intelligent industrial transformation, this study explores the matching relationship between Putian vocational network technology students' competencies, national teaching standards, and regional industry needs. Using 400 valid samples and a three-dimensional competency framework, it provides empirical support for regional vocational education reform.

1. Elaboration of Core Research Findings

The core finding is the "partial compliance paradox": students' basic technical skills and professional qualities meet national teaching standards, but their advanced industrial scenario skills (critical to industrial needs) do not meet either standards or enterprise requirements. This stems from disconnected training models and real industrial scenarios, consistent with situated learning theory [7]. School-enterprise training improves advanced skills; "1+X" certificates enhance job-major matching [8]; curriculum-industry alignment shortens job adaptation periods, aligning with Cappelli's skill mismatch theory [9].

2. Dialogue with Previous Studies

This study supplements Cappelli's (2015) skill mismatch theory [9] with micro-empirical evidence from Chinese regional manufacturing. It identifies a "sufficient basic competencies but insufficient scenario application" imbalance, differing from the traditional view that skill mismatches stem from delayed educational supply. Instead, this mismatch arises primarily from the disconnection between classroom instruction and real industrial environments. This finding supports existing studies showing that rapid technological transformation outpaces vocational education updates, which in turn creates persistent competency gaps between graduates and industries [10-14].

The findings also verify situated learning theory's applicability in manufacturing vocational education. Workplace participation helps students acquire tacit knowledge and practical competencies unobtainable via classroom instruction alone, aligning with prior research [5], [10], [15]. Unlike Mingwei and Yao's (2025) vocational employment competency model [10], this study focuses on network technology and industrial scenario alignment, filling the empirical gap in intelligent manufacturing technical competency research.

This study also enriches Spence's (1973) signaling theory [8] in the technical labor market. Unlike Weiss (1995) [11], who focused on human capital's wage role, it highlights vocational certifications' signaling function for employment outcomes. "1+X" certificates serve as credible signals to reduce employer-graduate information asymmetry. Unlike Bishop and Abraham's (1993) job matching research [12], it quantifies curriculum-industry alignment's impact on job adaptation, extending labor market matching theory. Furthermore, the findings contribute to Industry 4.0 workforce skill literature. Digital technologies and intelligent manufacturing have increased demand for interdisciplinary technical competencies [16], [17]. Existing studies note vocational education's difficulty adapting curricula, causing advanced skill shortages [18]. This study provides empirical evidence for deeper vocational education-industry integration.

Recommendation

1. Vocational Colleges: Build a "Standard + Scenario" dual-driven curriculum aligned with national Teaching Standards, integrate "1+X" certificate skills into core course assessments, and co-build enterprise-level training bases via the industry-education consortium to improve students' advanced industrial scenario skills.

2. Enterprises: Form hybrid teaching teams with colleges to develop scenario-based teaching cases, provide Teaching Standards-compliant on-the-job internships with one-on-one mentorship, and share training resources to ease SMEs' independent investment pressure.

3. Government & Industry Associations: Establish incentive policies for industry-education integration, formulate localized skill standards for Putian's intelligent industries, and build a talent supply-demand big data platform to align vocational education with industrial iteration.

References

- [1] K. Chen, Q. Meng, Y. Sun, and Q. Wan, "How does industrial policy experimentation influence innovation performance? A case of Made in China 2025," *Humanities and Social Sciences Communications*, vol. 11, no. 1, Art. no. 40, 2024, doi: 10.1057/s41599-023-02497-x.
- [2] Z. Zhang, "Comparisons between the Chinese and German vocational education systems (VET) shaped by sociocultural and economic factors," *International Journal of New Developments in Education*, vol. 5, no. 23, pp. 34–38, 2023, doi: 10.25236/IJNDE.2023.052306.
- [3] T. Deissinger and P. Gonon, "The development and cultural foundations of dual apprenticeships: A comparison of Germany and Switzerland," *Journal of Vocational Education & Training*, vol. 73, no. 2, pp. 197–216, 2021, doi: 10.1080/13636820.2020.1863451.
- [4] B. Zhang and K. Luo, "From form to substance: A study on the strategy of building municipal industry-education consortiums," *Frontiers in Management and Economics*, vol. 6, no. 2, 2025, doi: 10.33142/fme.v6i2.15415.
- [5] L. Huang, "Research on the 'dual system' vocational undergraduate talent training model with Chinese characteristics," *Vocational Education*, vol. 14, no. 6, pp. 71–76, 2025, doi: 10.12677/ve.2025.146250.
- [6] Z. Sun, "The role of '1+X' certification in curriculum reform and competency-based education in China's vocational colleges," *Journal of Advanced Research in Education*, vol. 4, no. 2, pp. 49–55, Mar. 2025, doi: 10.56397/JARE.2025.03.07.
- [7] J. S. Brown, A. Collins, and P. Duguid, "Situated cognition and the culture of learning," *Educational Researcher*, vol. 18, no. 1, pp. 32–42, Jan. 1989, doi: 10.3102/0013189X018001032.
- [8] M. Spence, "Job market signaling," *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 87, no. 3, pp. 355–374, Aug. 1973, doi: 10.2307/1882010.
- [9] P. H. Cappelli, "Skill gaps, skill shortages, and skill mismatches: Evidence and arguments for the United States," *ILR Review*, vol. 68, no. 2, pp. 251–290, Mar. 2015, doi: 10.1177/0019793914564961.

-
- [10] W. Ming and Z. Yao, "Construction and profiling of employment competency model for higher vocational college students: Taking four private higher vocational colleges in Guangdong as examples," *Jiaoyu Xuebao (JYXB)*, vol. 1, no. 1, pp. 88–93, Jul. 2025, doi: 10.70693/jyxb.v1i1.37.
 - [11] A. Weiss, "Human capital vs. signalling explanations of wages," *Journal of Economic Perspectives*, vol. 9, no. 4, pp. 133–154, Fall 1995, doi: 10.1257/jep.9.4.133.
 - [12] J. H. Bishop, "Improving job matches in the U.S. labor market," *Brookings Pap. Econ. Act.: Microeconomics*, vol. 1993, no. 1, pp. 335–400, 1993, doi: 10.2307/2534715.
 - [13] OECD, *OECD Skills Outlook 2019: Thriving in a Digital World*. Paris, France: OECD Publishing, 2019. doi: 10.1787/df80bc12-en.
 - [14] World Economic Forum, *The Future of Jobs Report 2020*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2020.
 - [15] S. Billett, "Learning through work: Workplace affordances and individual engagement," *Journal of Workplace Learning*, vol. 13, no. 5, pp. 209–214, 2001, doi:10.1108/EUM0000000005548.
 - [16] K. Schwab, *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum, 2016.
 - [17] D. H. Autor, "Skills, education, and the rise of earnings inequality among the 'other 99 percent'," *Science*, vol. 344, no. 6186, pp. 843–851, 2014, doi:10.1126/science.1251868.
 - [18] F. Rauner and R. Maclean, Eds., *Handbook of Technical and Vocational Education and Training Research*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2008, doi: 10.1007/978-1-4020-8347-1.

EFFICACY ASSESSMENT OF A RAG-BASED CHATBOT FOR EDUCATIONAL COMPUTER PROGRAMMING

Waris Rattananimit^{1*} and Jatuporn Sakchaikul²

Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College¹

Faculty of Digital, Siam Technology College²

Author email: warisr@siamtechno.ac.th^{1*}, jatuporns@siamtechno.ac.th²

Received: April 24, 2026

Revised: June 20, 2026

Accepted: June 26, 2026

Abstract

The purposes of the research were to 1) develop an educational Python chatbot utilizing the open-source Large Language Model, Gemma2 9B, combined with Retrieval-Augmented Generation (RAG) to provide personalized, non-intimidating support for novice programmers facing complex abstract concepts, 2) implement a secure, locally-hosted AI system using Ollama and Docker, managed via OpenWebUI, to ensure a context-aware knowledge base specifically tailored for Python programming instruction, and 3) evaluate the performance and efficacy of the chatbot through a multi-dimensional assessment focusing on semantic consistency, response accuracy via BERT Score, and linguistic fluency via BLEU Score.

The research findings showed that the RAG-based chatbot significantly outperformed the baseline (No-RAG) model across all evaluation dimensions. It achieved a high Consistency score of 0.96 compared to the baseline's 0.82, indicating highly stable and predictable responses. Furthermore, the system demonstrated robust semantic understanding with an impressive BERT Score (Precision: 0.90, Recall: 0.88, F1-score: 0.89), successfully capturing the relevance of educational content compared to the baseline's F1-score of 0.76. However, while the BLEU Score of 0.29 was an improvement over the baseline's 0.21, it highlighted limitations in generating nuanced, human-like linguistic responses. Ultimately, integrating external knowledge via RAG provides a reliable, accurate, and powerful solution for decentralized educational tools, though further optimization in prompt engineering is recommended to enhance natural language flow. The evaluation was conducted using a benchmark dataset consisting of 50 Python programming questions; therefore, the findings should be interpreted within the scope of this dataset.

Keywords: Computer Programming, Artificial Intelligent, Large Language Model, Retrieval-Augmented Generation, Educational Chatbot

Introduction

Currently, Computer programming education faces several challenges, particularly the high failure rate and the lack of foundational programming knowledge among learners.[10] Initial solutions may include providing additional support for learners with limited programming backgrounds [10], carefully integrating AI with human oversight by using AI as a supplementary tool under the guidance of instructors. Instructors can utilize AI to provide preliminary feedback or identify common problem areas among students, thereby enabling more detailed and accurate guidance[10].

Additionally, fostering critical thinking skills in the use of digital tools and artificial intelligence is crucial[6]. Python programming has become an indispensable skill in today's digital age due to its versatility and popularity across various fields, including data science, artificial intelligence, and web development[10]. However, learning to program, especially for beginners, can be challenging and daunting. Beginner Python learners often encounter multiple difficulties. While Python is designed for readability, aspects of its syntax can still be difficult to grasp, such as variables, functions, and data structures, which are abstract concepts that require time to understand[10]. Additionally, limited access to personalized support, such as instructors or teaching assistants, exacerbates these difficulties, leading to gaps in knowledge and comprehension [5].

Another common challenge is that some learners hesitate to ask questions due to embarrassment or fear of judgment, which prevents them from clarifying their doubts and mastering key programming concepts [6]. Artificial Intelligence AI-powered chatbots have emerged as a promising tool in education, providing personalized learning support and instant feedback. Large Language Models (LLMs), such as ChatGPT and GPT-4o, have demonstrated strong capabilities in understanding and generating natural language, making them highly suitable for developing educational chatbots [3].

For example, An AI-driven chatbot developed for computer science courses was found that it significantly enhances self-regulated learning (SRL) and reduces the burden on instructors. However, students still preferred human guidance in some situations [5]. Despite these benefits, concerns have been raised regarding over-reliance on AI and the accuracy of AI-generated responses. Research has shown that many students tend to copy incorrect answers provided by AI without verifying their correctness, highlighting the need for critical thinking skills when using AI-powered tools [10]. Moreover, AI chatbots have proven valuable in supporting Python learning by providing guidance on syntax, explaining code errors, and assisting in programming exercises [7]. This enables students to practice debugging and problem-solving more effectively, fostering independent learning.

This research aims to explore the potential of LLMs in developing a chatbot application that can effectively assist beginners in learning Python programming. The chatbot should be capable of answering Python programming questions clearly and concisely, offering problem-solving guidance by helping learners identify and resolve code errors, simulating human-like conversations to create a friendly and non-intimidating learning environment, and providing personalized learning experiences tailored to individual needs and progress.

Research Objectives

1. To develop an educational Python chatbot utilizing open-source Large Language Models (LLMs) and Retrieval-Augmented Generation (RAG) to provide personalized support for novice programmers.
2. To implement a locally-hosted AI system using Ollama and Docker to ensure a secure, context-aware knowledge base specifically tailored for Python programming instruction.
3. To evaluate the performance and efficacy of the chatbot through a multi-dimensional assessment, focusing on semantic consistency, response accuracy (BERT Score), and linguistic fluency (BLEU Score)

Methodology

Literature Review

Large Language Model (LLM) is an advanced artificial intelligence system designed to process and generate human-like text using deep learning techniques, primarily based on the Transformer architecture. LLMs are trained on vast amounts of textual data to understand, generate, and manipulate language for a variety of tasks such as text completion, summarization, translation, and chatbot interactions [1]. The use of AI chatbots in programming education has been increasingly recognized as a solution to several challenges students face, such as debugging, conceptual understanding, and learning efficiency. Many students struggle with programming due to inadequate feedback and a lack of fundamental programming skills[10]. AI chatbots, such as ChatGPT, have been found to significantly improve students' performance in programming exams by offering immediate responses, explanations, and debugging support[12]. These chatbots facilitate personalized learning and interactive engagement, which are crucial in programming education[11]. However, the reliance on AI chatbots also raises concerns about academic integrity, as students may uncritically accept incorrect responses or engage in plagiarism by copying AI-generated code without understanding the underlying logic [9]. While AI tools can enhance learning experiences, educators must establish guidelines to ensure their responsible use and to promote critical thinking in programming education [12].

Related Work

Previous research compared Retriever-Augmented Generation (RAG), fine-tuning, and prompt engineering to enhance Large Language Model (LLM) chatbot performance. [4] Utilizing the "openassistant-guanaco" dataset from Hugging Face, the study evaluated these methodologies separately to identify their unique strengths and weaknesses in improving user engagement and accuracy. Experimental results showed that the fine-tuned model achieved the highest performance across all metrics, with an accuracy of 87.8% and a BLEU score of 0.81, effectively reducing contextual misunderstandings and inaccuracies. RAG followed with an accuracy of 84.5%, proving highly effective for real-time data retrieval in dynamic environments, though it exhibited slightly higher perplexity than fine-tuning. Prompt engineering, while scoring the lowest in accuracy at 83.2%, was recognized as a cost-effective and flexible alternative suitable for rapid

deployment and limited resources. The research concludes that while fine-tuning is optimal for high-precision domain-specific tasks, the choice of approach depends on organizational resources, and future work should explore merging fine-tuning with RAG to harness both deep comprehension and extensive information access.

The consistency and reasoning capabilities of proprietary (GPT-4-Turbo, GPT-4, GPT-3.5) and public (Mistral, Mixtral) Large Language Models using the Boolq dataset . By analyzing responses to general knowledge questions and comparing generated explanations against ground truth using metrics like BERT, BLEU, and F-1 scores, the researchers found that proprietary models consistently outperformed public ones, with GPT-4 achieving the highest consistency at 89.4%. The study established a direct correlation between a model's consistency and its reasoning ability, noting that inconsistencies predominantly arise when models provide incorrect answers accompanied by fabricated explanations. Ultimately, the research highlights that current LLMs still face significant inherent reasoning challenges, as none of the tested models reached a 90% threshold in both consistency and reasoning performance.[1]

MoodleBot achieved an accuracy of 88% in educational settings, an LLM-driven chatbot integrated into the Moodle Learning Management System (LMS) designed to support self-regulated learning in higher education. By adopting a retrieval-augmented generation (RAG) approach to ensure congruence with course content, the study achieved an 88% accuracy rate in providing academic assistance. Evaluation through the technology acceptance model (TAM) indicated that while students found the chatbot highly useful and intuitive for studying course materials, they maintained a clear preference for human tutors over AI for complex interactions. The findings suggest that LLM-driven tools can effectively reduce administrative burdens for educators and enhance personalized learning support, provided they are utilized as a complement to, rather than a replacement for, traditional teaching methods [5]

Current research on the optimization and application of Large Language Models (LLMs) highlights a critical balance between architectural strategies and inherent logical limitations. Chaubey demonstrated that the choice of implementation significantly impacts performance, with domain-specific fine-tuning achieving the highest accuracy (87.8%), while Retrieval-Augmented Generation (RAG) and prompt engineering offer competitive alternatives for real-time data retrieval and cost-efficiency, respectively. However, even with these optimizations, Saxena identified fundamental challenges in LLM reliability, noting that no current model achieves a 90% threshold in both consistency and reasoning. Their findings reveal a direct correlation between output consistency and reasoning capabilities, as models frequently generate fabricated explanations (hallucinations) when providing incorrect answers. In practical educational settings, Neumann successfully applied the RAG approach to develop MoodleBot, which achieved an 88% accuracy rate and high student acceptance. Nevertheless, despite the perceived usefulness of these AI tools in reducing administrative burdens and supporting self-regulated learning, evidence suggests that students still prefer human tutors for complex interactions, underscoring that LLMs should complement rather than replace human instruction. [4]

Despite the increasing use of Large Language Models (LLMs) and Retrieval-Augmented Generation (RAG) in educational chatbots, empirical studies on locally deployed open-source LLMs for programming education remain limited. Most existing research focuses on proprietary cloud-based models, raising concerns regarding deployment costs, data privacy, and institutional control. Furthermore, previous studies often emphasize usability and learner satisfaction, while comprehensive evaluations using multiple performance metrics such as Consistency, BERT Score, and BLEU Score are relatively scarce. To address these gaps, this study develops and evaluates a locally hosted educational chatbot based on the Gemma2 9B model integrated with RAG for Python programming instruction.

This research aimed to develop an AI-assisted tool for teaching Python programming, leveraging Large Language Models (LLMs) and Retrieval-Augmented Generation (RAG) to provide students with enhanced learning experiences. The development involves creating Python educational content for both training the LLM and serving as the chatbot's knowledge base, designing a chatbot with NLP, dialogue management, and UI components, and training the model using the Python content and simulated conversations. To evaluate the effectiveness of this AI-assisted teaching system, The evaluation focused on assessing the consistency of the chatbot's responses and employing metrics such as BERT Score and BLEU Score to measure the quality and accuracy of the generated programming assistance.

Research Gap

Despite the increasing adoption of LLMs and RAG in educational chatbots, several research gaps remain. Existing studies primarily focus on proprietary cloud-based models, while empirical investigations of locally deployed open-source LLMs for programming education remain limited [1], [5], [8]. Furthermore, although RAG has been shown to improve factual accuracy and contextual relevance, evidence regarding its effectiveness in domain-specific programming instruction is still insufficient [2], [4], [8]. In addition, many previous studies emphasize usability and learner satisfaction, whereas comprehensive evaluations incorporating consistency, semantic similarity, and linguistic quality remain relatively scarce [1], [5], [11], [12]. Therefore, this study develops and evaluates a locally hosted educational chatbot based on Gemma2 9B integrated with RAG for Python programming instruction.

Chatbot Development

1) Chatbot Design

The chatbot was designed with several key components. These include a Natural Language Processing (NLP) module for effective language understanding, a dialogue management module to control the flow of conversations, a Python programming knowledge base to provide accurate information and guidance, and a User Interface (UI) to facilitate interaction with the user. Large Language Model (LLM) Selection: A suitable Model was selected, The Gemma2 9B model was selected based on a comprehensive evaluation of factors such as natural language understanding (NLU) capabilities, natural language generation (NLG) abilities, and the availability of supporting APIs or development tools.

2) Python Educational Content Development

For the development of this system, a comprehensive suite of Python educational materials were developed. These resources encompassed fundamental programming principles, including variables, data types, control structures, functions, and essential libraries. This content fulfilled a dual role: serving as training data for the Large Language Model (LLM) and providing a core knowledge repository for the chatbot agent.

Prompt engineering, fine-tuning and Retrieval-Augmented Generation (RAG) are also established methods for adapting the Model, this research specifically focuses on Prompt engineering and Retrieval-Augmented Generation (RAG) due to its advantages in efficiency, knowledge update flexibility, and data grounding, which are particularly relevant for an educational chatbot application focused on Python programming.

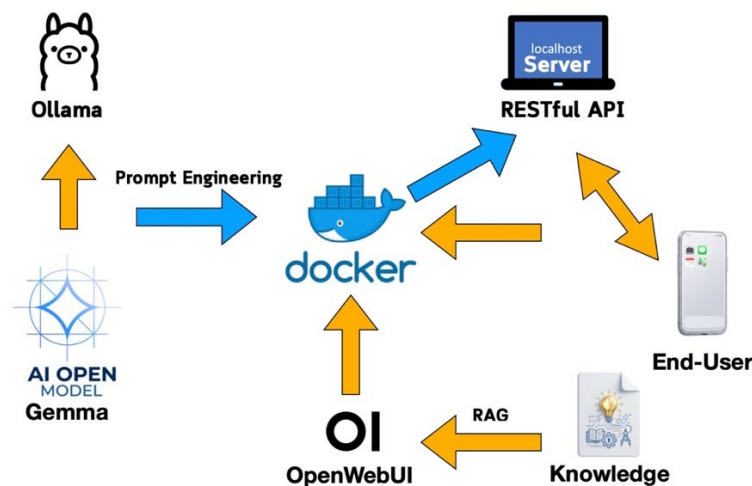


Figure 1. System Architecture

The system begins with the selection of Open Models, indicating the commitment to utilizing openly available Large Language Models. Specifically, the diagram highlights Gemma2 9B (by Google) as selected base models, emphasizing the research's focus on models that can be locally hosted adapted. Ollama is presented as the runtime environment for these open models. Ollama simplifies the process of running and managing LLMs locally, providing a crucial layer for model deployment and inference within the research context.

Following model selection and runtime configuration, prompt engineering remains a critical stage. This underscores the ongoing importance of carefully crafting prompts to effectively elicit desired behavior from the chosen Large Language Model (LLM). Subsequent to prompt engineering, the optimized LLM, executed within the Ollama framework, is containerized using Docker. This containerization provides a consistent and portable deployment environment, promoting reproducibility and simplifying deployment across diverse research settings.

3) Dataset Construction

To evaluate the performance and effectiveness of the proposed RAG-based chatbot, a dataset consisting of 50 Python programming queries was constructed. These queries were systematically derived from fundamental Python programming lessons, ensuring alignment with beginner-level learning objectives. The dataset covers essential topics in introductory Python programming, including: Variables (5 questions), Data Types (5 questions), Conditional Statements (5 questions), Loops (5 questions), Functions (5 questions), Lists (5 questions), Tuples (5 questions), Dictionaries (5 questions), Basic Input/Output Operations (5 questions), and Error Handling and Debugging (5 questions). Each query in the dataset was designed to reflect realistic student questions, such as code explanations, error identification, and problem-solving tasks. This ensures that the evaluation closely represents authentic learning scenarios. The dataset was designed as a proof-of-concept benchmark.

For each of the 50 queries, a corresponding ground truth response was developed. These reference answers were constructed based on Standard Python textbooks, verified educational resources, and instructor-level explanations. These reference responses serve as the benchmark for evaluating the chatbot's output using semantic and lexical similarity metrics.

4) Model Training

The model was configured through prompt engineering and RAG-based knowledge augmentation using the developed Python educational content. This training regimen ensures the chatbot's ability to accurately and effectively respond to Python programming inquiries.

4.1 Prompt Engineering is about getting a pre-trained the Model to do what you want just by writing good prompts. The internal workings of the Model remain unchanged, and the success of this approach is dependent on skillful prompt creation.

4.2 Retrieval-Augmented Generation (RAG) responsible for augmenting the LLM's responses with external information[2], is managed through OpenWebUI. This platform serves as the central component for the RAG pipeline, interfacing with a dedicated knowledge base of Python programming materials. OpenWebUI likely manages interactions with this knowledge base to enrich the chatbot's responses and may also provide a user interface or a management layer for the containerized application. Integration of OpenWebUI occurs either within the Docker container itself or via orchestration of the RAG process that feeds into the containerized application.

The RAG configuration employed in this study utilized the Gemma2 9B model running on Ollama as the local inference engine, while OpenWebUI was used to manage the knowledge base and retrieval process. Python programming materials were segmented into text chunks of approximately 500 tokens with an overlap of 100 tokens to preserve contextual continuity during retrieval. The embedding process was performed using the nomic-embed-text model to convert educational content into vector representations for semantic search. During response generation, the model was configured with a temperature value of 0.2 and a top-p value of 0.9 to enhance response consistency while maintaining sufficient flexibility in

language generation. The system was deployed on a local server environment with Docker containerization, enabling secure, privacy-preserving, and institutionally controlled operation without reliance on external cloud-based AI services.

This architecture emphasizes the utilization of open-source LLMs (Gemma2 9B) managed by Ollama, deployed within Docker for portability, and enhanced through RAG facilitated by OpenWebUI. Prompt engineering maintains its central role in guiding LLM behavior within this RAG-enhanced, locally deployable system. This updated architecture emphasizes the specific technologies employed and their interrelationships within the proposed chatbot system.

The proposed system supports educational programming through an AI-driven chatbot and assesses its effectiveness using multiple evaluation metrics. At the core of this system is an LLM Server, which houses the powerful Large Language Model responsible for the chatbot's intelligence. This LLM Server provides the necessary language processing capabilities to the AI-Mentor, a chatbot agent that serves as the student's primary point of interaction. The AI-Mentor delivers the Programming Lesson content to the Student, acting as a guide and support tool throughout the learning process. Simultaneously, the AI-Mentor collects data on the student's interactions and performance. This data is then used in a process to Evaluate, where metrics like consistency, BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), and BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) are employed. This evaluation aims to determine the system's effectiveness, focusing on the quality and consistency of the AI-Mentor's responses and the overall learning outcome for the student.

5) Chatbot's Performance

The chatbot's performance was evaluated across several key areas, including answer accuracy, guidance relevance, and response speed. Specific metrics were employed for this evaluation, such as Precision, Recall, F1-score for question answering, Completion Rate for problem-solving.

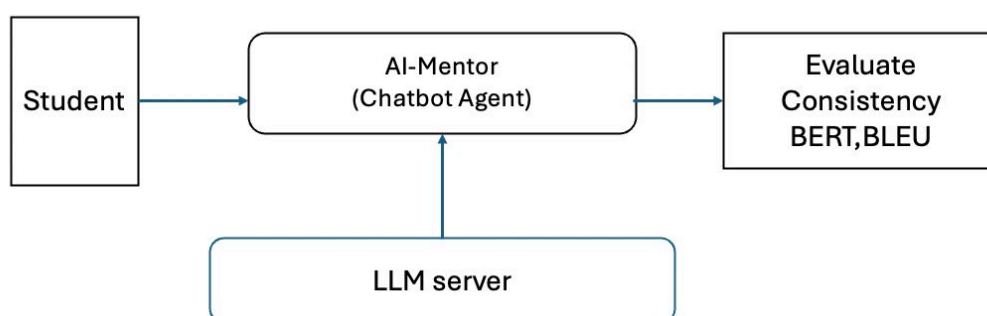


Figure 2. Educational Programming Chatbot

Evaluate Model

The consistency of the LLMs is evaluated by giving the same query to the models three times. If the response of the LLMs (considering only true and false) don't change, then we say that the LLM is consistent over that particular query else it is inconsistent.

In order to evaluate the reasoning capabilities of the LLMs, the generated explanation of the LLM is compared with the ground truth (the explanation in the dataset). The following metrics are used in order to compare the similarity between the generated response and the ground truth BERT Score, BLEU Score and F-1 Score

Consistency.

In natural language processing (NLP), consistency refers to the extent to which a model's output aligns with a given set of rules, constraints, or guidelines. This can involve adhering to grammatical rules, maintaining logical coherence, or staying within a specific domain or style. Consistency is often evaluated by comparing the model's output to a gold standard or a set of human-generated examples[1]. The consistency of the LLMs is measured by measuring the consistency and inconsistency percentage. The Consistency percentage is given by

$$C_p = \frac{n_c}{n_t} \times 100 \quad (1)$$

C_p is the consistency percentage,

n_c is the total number of consistent responses,

n_t is the total number of questions in the dataset.

and the inconsistency percentage is given by:

$$C_n = \frac{n_{ic}}{n_t} \times 100 \quad (2)$$

C_n is the inconsistency percentage,

n_{ic} is the total number of inconsistent responses, and

BERT Score.

BERT Score is an evaluation metric that leverages the contextualized word embeddings from the BERT model to assess the similarity between two sentences or texts. It computes a similarity score for each pair of words in the two texts and aggregates these scores to produce an overall score. BERT Score has been shown to correlate well with human judgments of translation quality and can capture semantic similarities that traditional metrics like BLEU Score may miss[1].

BLEU Score.

BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) Score is a widely used metric for evaluating the quality of machine-generated text, particularly in machine translation. It measures the overlap of n-grams (sequences of n words) between the generated text and one or more reference translations. While BLEU Score is easy to compute and has been used extensively, it has some limitations, such as its inability to capture semantic similarity and its sensitivity to word order[1].

F-1 score.

The F-1 score gives us a balanced measure between the amount of information present in the generated response that is actually found in the ground truth and the amount of key information present in the generated response when compared with the ground truth.

$$F_1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

Precision measures the proportion of information generated by the model that accurately matches the ground truth relative to the total output produced by the model.

Recall measures the proportion of information generated by the model that matches the ground truth relative to the total information present in the actual answer.

Research Results

The results of this research are presented according to the three research objectives: 1) development of the educational Python chatbot utilizing Large Language Models (LLMs) and Retrieval-Augmented Generation (RAG) 2) implementation of the locally hosted AI environment using Ollama and Docker, and 3) evaluation of chatbot performance using Consistency, BERT Score, BLEU Score, and F1-score.

1) The first objective of this research was to develop an educational chatbot capable of supporting beginner-level Python programming instruction using open-source Large Language Models (LLMs) integrated with Retrieval-Augmented Generation (RAG).

The developed chatbot integrates several major components, including: Natural Language Processing (NLP) , Dialogue management, Python programming knowledge base ,Retrieval-Augmented Generation (RAG), User interaction interface

The chatbot was designed to provide personalized educational assistance by answering Python programming questions, explaining programming concepts, assisting with debugging tasks, and supporting problem-solving activities. The integration of RAG enabled the chatbot to retrieve relevant educational content from the Python knowledge base before generating responses, thereby improving contextual relevance and reducing hallucination.

The educational content used in the system covered introductory Python programming topics, including variables, data types, conditional statements, loops, functions, lists, tuples, dictionaries, input/output operations, and debugging techniques.

2) The second objective focused on implementing a secure and locally hosted AI environment using Ollama and Docker. The developed system utilized the Gemma open-source Large Language Model executed through Ollama, which served as the local runtime environment for model management and inference. Docker containerization was employed to ensure deployment portability, reproducibility, and simplified system maintenance. OpenWebUI was integrated into the system to manage interactions between the chatbot and the Retrieval-Augmented Generation (RAG) pipeline. The RAG framework enabled the chatbot to retrieve information from a dedicated Python programming knowledge base before generating responses.

3) The third objective was to evaluate the performance and effectiveness of the proposed chatbot through quantitative performance metrics. A comparative experiment was conducted between: RAG-based chatbot and Baseline chatbot without RAG integration (No-RAG). Both systems were evaluated using the same dataset consisting of 50 Python programming questions. The baseline system utilizes the same underlying Large Language Model (LLM) but generates responses without access to the external Python knowledge base. The performance of both models was evaluated using Consistency, BLEU Score, and BERT Score, as shown in Table 1.

Table 1 Performance Comparison Between RAG and Baseline Model

Model	Consistency	BLEU Score	BERT Precision	BERT Recall	BERT F1
RAG-based Chatbot	0.96	0.29	0.90	0.88	0.89
Baseline (No-RAG)	0.82	0.21	0.78	0.75	0.76

The RAG-based chatbot achieved a Consistency score of 0.96, significantly outperforming the baseline model (0.82). This indicates that the integration of a structured knowledge base through RAG contributes to more stable and repeatable responses. The RAG-based model demonstrated superior semantic understanding, with a BERT F1-score of 0.89, compared to 0.76 in the baseline model. The BLEU Score of the RAG-based chatbot (0.29) was higher than that of the baseline model (0.21), indicating improved overlap with reference responses.

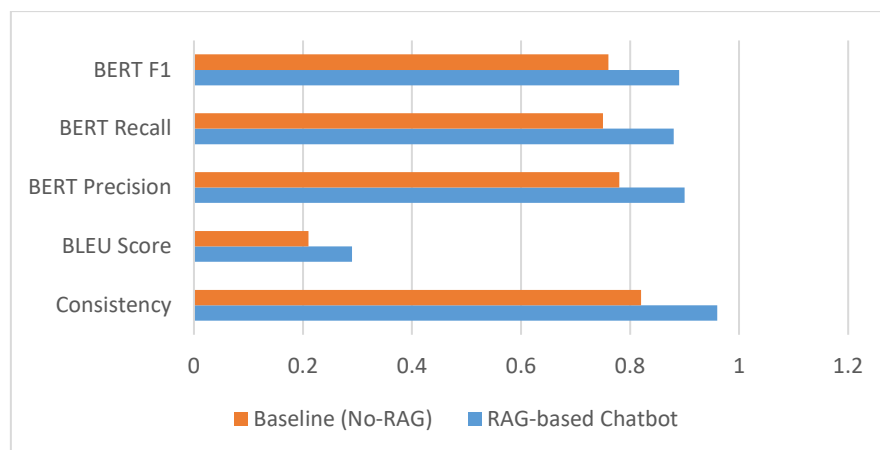


Figure 3. Comparison Between RAG and Baseline Model

The experimental results clearly demonstrate that incorporating Retrieval-Augmented Generation significantly enhances chatbot performance across all evaluation dimensions. The comparative analysis indicates that the RAG-based chatbot consistently outperforms the baseline model in terms of reliability, semantic accuracy, and linguistic alignment. This validates the effectiveness of integrating external knowledge sources into LLM-based educational systems.

Conclusion and Discussion

The development of an educational Python chatbot utilizing open-source Large Language Models (LLMs) and Retrieval-Augmented Generation (RAG) presents a promising avenue for accessible and interactive learning. The system architecture, as illustrated in Figure 1, demonstrates a modular design leveraging Gemma2 9B via Ollama, containerized with Docker, and enhanced with RAG through OpenWebUI. This approach prioritizes local deployment, flexibility, and maintainability, aligning with the goal of creating a research-friendly and adaptable educational tool.

The evaluation of the chatbot's performance, as evidenced by the reported metrics, provides valuable insights into its strengths and areas for improvement. A high Consistency score of 0.96 suggests that the chatbot consistently provides similar responses to identical prompts, indicating a stable and predictable behavior. This is crucial for building user trust and ensuring a reliable learning experience.

Although the BLEU Score of the RAG-based chatbot (0.29) was higher than that of the baseline model (0.21), the absolute score remains relatively low. This suggests that, while the integration of Retrieval-Augmented Generation (RAG) improved lexical overlap with the reference responses, the chatbot still has limitations in generating answers that closely resemble expert-written explanations at the surface-text level. Nevertheless, the high BERT Score ($F1 = 0.89$) indicates that the chatbot successfully captures the semantic meaning and educational relevance of the reference content. Therefore, the findings suggest that the proposed system is more effective in preserving conceptual understanding than in reproducing identical linguistic expressions.

In contrast, the BERT Score, with a Precision of 0.90, Recall of 0.88, and F1-score of 0.89, paints a more positive picture. BERT Score, which leverages contextual embeddings to assess semantic similarity, suggests that the chatbot's responses effectively capture the meaning and relevance of the educational content. This indicates that while the chatbot may not replicate the exact phrasing of expert answers, it successfully conveys the intended information. The high F1-score, which balances Precision and Recall, underscores the chatbot's ability to provide both accurate and comprehensive responses.

The discrepancy between the BLEU and BERT Scores underscores the importance of employing a multi-faceted evaluation approach. While BLEU focuses on surface-level textual similarity, BERT Score delves into the semantic content, providing a more nuanced understanding of the chatbot's performance. In educational applications, where understanding and knowledge transfer are paramount, semantic accuracy is often more critical than verbatim replication.

The RAG architecture, utilizing OpenWebUI to interface with a dedicated Python programming knowledge base, plays a crucial role in grounding the chatbot's responses. By retrieving relevant information from external sources, the chatbot can provide more accurate and contextually appropriate answers. The effectiveness of this RAG pipeline is reflected in the high BERT Score, suggesting that the chatbot successfully leverages the knowledge base to enhance its responses.

In conclusion, this research demonstrates the potential of open-source LLMs and RAG for developing effective educational chatbots. The evaluation results highlight the importance of employing multi-dimensional evaluation metrics and the need for continuous improvement through prompt engineering, RAG enhancement, and user feedback. By addressing the identified limitations and exploring new avenues for development, we can further advance the field of AI-driven educational tools and create more engaging and effective learning experiences.

Limitations

This study has several limitations that should be considered when interpreting the findings. First, the evaluation dataset consisted of only 50 Python programming queries covering fundamental programming concepts. Although the dataset was designed to represent realistic beginner-level learning scenarios, its limited size may restrict the generalizability of the findings to broader programming domains and more complex problem-solving tasks. Second, the evaluation focused primarily on automated performance metrics, including Consistency, BERT Score, and BLEU Score. While these metrics provide valuable quantitative insights, they may not fully capture educational effectiveness, learner engagement, or pedagogical quality from the perspective of students and instructors. Third, the chatbot was evaluated using benchmark questions rather than real classroom deployment. Consequently, the study does not examine learner satisfaction, learning outcomes, long-term usage behavior, or the impact of the chatbot on programming achievement in authentic educational settings. Fourth, although the RAG-based chatbot outperformed the baseline model across all evaluation metrics, statistical significance testing was not conducted. Therefore, future studies should employ larger datasets and appropriate statistical analyses to

further validate the observed performance improvements. Finally, the system was developed using a specific open-source LLM configuration and Python programming knowledge base. The results may vary when different models, embedding techniques, retrieval strategies, or educational domains are employed.

Recommendation

1. Educational institutions may adopt the proposed RAG-based chatbot as a supplementary learning tool for introductory Python programming courses. The chatbot can provide immediate assistance, explain programming concepts, and support students outside classroom hours.

2. Instructors may utilize the chatbot to provide preliminary guidance for common programming questions, thereby reducing repetitive inquiries and allowing more time for higher-level instructional activities.

3. To maximize educational effectiveness, the chatbot should be used as a complementary learning assistant rather than a replacement for instructors. Students should be encouraged to verify chatbot-generated responses and apply critical thinking when solving programming problems.

4. Institutions concerned with data privacy and information security may benefit from locally hosted open-source LLM solutions, as such systems offer greater control over educational data compared with cloud-based AI services.

5. Future studies should employ larger and more diverse datasets covering intermediate and advanced programming topics to improve the generalizability of the findings. Further research should investigate the effectiveness of the proposed chatbot in real classroom environments by examining learner satisfaction, learning achievement, self-regulated learning, and long-term educational outcomes.

6. Human expert evaluation should be incorporated alongside automated metrics to provide a more comprehensive assessment of chatbot response quality and pedagogical effectiveness.

7. Future studies should explore the integration of fine-tuning techniques with Retrieval-Augmented Generation (RAG) to further improve response accuracy, consistency, and domain-specific performance.

8. Additional evaluation metrics, such as ROUGE, METEOR, and human-centered assessment frameworks, should be considered to complement BERT Score and BLEU Score.

9. Further research should examine the scalability and deployment performance of locally hosted educational chatbots in larger educational institutions and multi-course learning environments.

References

- [1] Y. Saxena, S. Chopra, and A. M. Tripathi, "Evaluating Consistency and Reasoning Capabilities of Large Language Models," in *Proc. 2024 Second International Conference on Data Science and Information System (ICDSIS)*, 2024, pp. 1–5, doi: 10.1109/ICDSIS61070.2024.10594233.
- [2] K. Ko, T. Y. Nyein, K. K. Oo, T. Z. Oo, and T. T. Zin, "Retrieval Augmented Generation for Document Query Automation Using Open-Source LLMs," in *Proc. 2024 5th International Conference on Advanced Information Technologies (ICAIT)*, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICAIT65209.2024.10754919.
- [3] S. Xu, X. Huang, C. K. Lo, G. Chen, and M. S. Jong, "Evaluating the Performance of ChatGPT and GPT-4o in Coding Classroom Discourse Data: A Study of Synchronous Online Mathematics Instruction," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 7, Art. no. 100325, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.caeai.2024.100325.
- [4] H. K. Chaubey, G. Tripathi, R. Ranjan, and S. K. Gopalaiyengar, "Comparative Analysis of RAG, Fine-Tuning, and Prompt Engineering in Chatbot Development," in *Proc. 2024 International Conference on Future Technologies for Smart Society (ICFTSS)*, 2024, pp. 1–7, doi: 10.1109/ICFTSS61109.2024.10691338.
- [5] A. T. Neumann, Y. Yin, S. K. Sowe, and S. Decker, "An LLM-Driven Chatbot in Higher Education for Databases and Information Systems," *IEEE Transactions on Education*, early access, pp. 1–14, Oct. 2024, doi: 10.1109/TE.2024.3467912.
- [6] M. Van Poucke, "ChatGPT, the Perfect Virtual Teaching Assistant? Ideological Bias in Learner-Chatbot Interactions," *Computers and Composition*, vol. 73, Art. no. 102871, 2024, doi: 10.1016/j.compcom.2024.102871.
- [7] A. Šarčević, I. Tomićić, A. Merlin, and M. Horvat, "Enhancing Programming Education with Open-Source Generative AI Chatbots," in *Proc. 47th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, Opatija, Croatia, 2024, pp. 2367–2372, doi: 10.1109/MIPRO60963.2024.10569736.
- [8] M. Ahmed, M. Dorrah, A. Ashraf, Y. Adel, A. Elatrozy, B. E. Mohamed, and W. Gomaa, "CodeQA: Advanced Programming Question-Answering Using LLM Agent and RAG," in *Proc. 2024 6th Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, Giza, Egypt, 2024, pp. 494–499, doi: 10.1109/NILES63360.2024.10753267.
- [9] A. P. Aguilera-Hermida, "AI Chatbots in Education: The Importance of Accuracy," *International Management Review*, vol. 20, no. 1, p. 39, 2024.
- [10] G. Akçapınar and E. Sidan, "AI Chatbots in Programming Education: Guiding Success or Encouraging Plagiarism," *Discover Artificial Intelligence*, vol. 4, Art. no. 87, Nov. 2024, doi: 10.1007/s44163-024-00203-7.

-
- [11] L. O. Campbell and T. D. Cox, "Utilizing Generative AI in Higher Education Teaching and Learning," *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, vol. 24, no. 4, pp. 162–173, Dec. 2024, doi: 10.14434/josotl.v24i4.36575.
- [12] S. Groothuijsen, A. van den Beemt, J. C. Remmers, and L. W. van Meeuwen, "AI Chatbots in Programming Education: Students' Use in a Scientific Computing Course and Consequences for Learning," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 7, Art. no. 100290, 2024, doi: 10.1016/j.caeai.2024.100290.
- [13] W. Fan, Y. Ding, L. Ning, S. Wang, H. Li, D. Yin, T.-S. Chua, and Q. Li, "A Survey on RAG Meeting LLMs: Towards Retrieval-Augmented Large Language Models," in *Proceedings of the 30th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '24)*, Barcelona, Spain, Aug. 2024, pp. 6491–6501, doi: 10.1145/3637528.3671470.
- [14] E. Mullins, A. Portillo, K. Ruiz Rohena, and A. Piplai, "Enhancing Classroom Teaching with LLMs and RAG," in *Proc. 25th Annu. Conf. Information Technology Education (SIGITE '24)*, Dec. 2024, pp. 145–146, doi: 10.1145/3686852.3687083.
- [15] Q. Wen, J. Liang, C. Sierra, R. Luckin, R. Tong, Z. Liu, P. Cui, and J. Tang, "AI for Education (AI4EDU): Advancing Personalized Education with LLM and Adaptive Learning," in *Proc. 30th ACM SIGKDD Conf. Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '24)*, Aug. 2024, pp. 6743–6744, doi: 10.1145/3637528.3671498.

บทบาทของเทคนิคการจัดกลุ่ม
และสถาปัตยกรรม MIXTURE OF EXPERTS เบื้องหลังความสำเร็จของ DEEPSEEK
THE ROLE OF CLUSTERING TECHNIQUES AND MIXTURE OF EXPERTS
ARCHITECTURE BEHIND THE SUCCESS OF DEEPSEEK

สุริยะ พุ่มเฉลิม^{1*}, นพคุณ นันทเสนีย์² และ อุษณี ยี่สุนแก้ว³

Suriya Pumchalerm^{1*}, Nopakhun Nanthasenee² and Utsanee Yeeseenkaew³

คณะเทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเซาท์อีสต์ Bangkok^{1,2,3}

Faculty of Digital Technology and Innovation, Southeast Bangkok University^{1,2,3}

Author email: pumchalerm@hotmail.com^{1*}, 6711463100006@sbu.southeast.ac.th²,

utsanee@sbu.southeast.ac.th³

Received: February 24, 2026

Revised: April 8, 2026

Accepted: April 28, 2026

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นบทความวิชาการเชิงทบทวนและสังเคราะห์แนวคิด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งในปัจจุบันกำลังเผชิญความท้าทายของข้อจำกัดในด้านความซับซ้อนเชิงคำนวณ การใช้ทรัพยากรจำนวนมาก และการขยายขนาดของระบบ ดังนั้นผู้ออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์จึงมุ่งพัฒนาแนวคิดและสถาปัตยกรรมที่สามารถรักษาประสิทธิภาพการประมวลผลในขณะที่ลดต้นทุนทรัพยากร และแนวทางที่ได้รับความนิยม คือ เทคนิคการจัดกลุ่ม ที่เป็นการเรียนรู้ของเครื่องจักรรูปแบบหนึ่ง และสถาปัตยกรรม Mixture of Experts (MoE) ซึ่งจะทำหน้าที่วิเคราะห์ความเชื่อมโยงเชิงโครงสร้างและเชิงคำนวณ โดยเทคนิคการจัดกลุ่มจะมุ่งค้นหารูปแบบและโครงสร้างแฝงภายในข้อมูล โดยอาศัยการแทนความหมายเชิงลึกเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กลไกดังกล่าวช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูลอินพุตและเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล ขณะเดียวกัน สถาปัตยกรรม MoE เป็นแนวคิดการคำนวณเชิงเงื่อนไขที่แบ่งแบบจำลองออกเป็นผู้เชี่ยวชาญย่อยหลายส่วน และใช้กลไกเลือกเปิดใช้งานเฉพาะส่วนที่เหมาะสมกับข้อมูล ส่งผลให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและรองรับการขยายขนาดของระบบได้ดียิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้การผสมผสานเทคนิคการจัดกลุ่มเข้ากับสถาปัตยกรรม MoE จึงก่อให้เกิดโครงสร้างการคำนวณที่สามารถลดภาระเชิงคำนวณ เพิ่มความยืดหยุ่น และรักษาสมรรถนะของแบบจำลองในระดับสูง แนวคิดดังกล่าวสะท้อนให้เห็นทิศทางสำคัญของการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ “DeepSeek” ที่มุ่งเน้นทั้งประสิทธิภาพ ความสามารถในการปรับขนาด และความยั่งยืนในการใช้งานในบริบทที่หลากหลาย

คำสำคัญ: เทคนิคการจัดกลุ่ม, Mixture of Experts, แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่, ดีพีซี

Abstract

This article is an academic review and synthesis of concepts, with the objective of presenting guidelines for the development of artificial intelligence (AI), which is currently confronted with significant challenges, particularly constraints related to computational complexity, intensive resource consumption, and system scalability. Consequently, AI system designers have increasingly focused on developing conceptual frameworks and architectural paradigms that can maintain high computational performance while reducing resource costs. Among the approaches that have attracted considerable attention are clustering techniques, one form of machine learning, and the Mixture of Experts (MoE) architecture, which functions to analyze structural and computational interrelationships within models. Clustering techniques aim to discover latent patterns and intrinsic structures within data by leveraging deep representations to group instances with similar characteristics. This mechanism helps reduce the complexity of input data and enhances processing efficiency. In parallel, the MoE architecture embodies a conditional computation paradigm in which a model is divided into multiple specialized sub-networks, or “experts,” and a routing mechanism selectively activates only those components most relevant to a given input. Such an approach enables more efficient resource utilization and improves the scalability of large-scale systems. The integration of clustering techniques with the MoE architecture therefore yields a computational framework capable of reducing computational burden, increasing flexibility, and sustaining high model performance. This conceptual integration reflects a key direction in the development of the AI system “DeepSeek,” which emphasizes efficiency, scalability, and sustainable deployment across diverse application contexts.

Keywords: Clustering, Mixture of Experts, Large Language Model, DeepSeek

บทนำ

บทความนี้เป็นบทความวิชาการเชิงทบทวนและสังเคราะห์แนวคิด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering) และสถาปัตยกรรม Mixture of Experts (MoE) เป็นแนวคิดสำคัญที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของ DeepSeek โดย Clustering ช่วยจัดระเบียบข้อมูลออกเป็นกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายกัน ทำให้โมเดลสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความซับซ้อนของปัญหา ในขณะที่ MoE เป็นการออกแบบโมเดลให้มี “ผู้เชี่ยวชาญหลายตัว” ที่มีความสามารถเฉพาะด้าน เพื่อเลือกใช้เฉพาะส่วนที่เหมาะสมกับข้อมูลในแต่ละครั้ง แนวทางนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล ลดการใช้ทรัพยากร และเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์ นอกจากนี้ การทำงานร่วมกันของ Clustering และ

MoE ยังช่วยให้โมเดลสามารถจัดการข้อมูลขนาดใหญ่และหลากหลายได้ดีขึ้น ส่งผลให้ DeepSeek มีความสามารถทั้งด้านความลึกและความยืดหยุ่น และสามารถแข่งขันกับเทคโนโลยีจากองค์กรชั้นนำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเรียนรู้ของเครื่องจักรและการเรียนรู้เชิงลึกได้กลายเป็นรากฐานสำคัญของระบบสารสนเทศและระบบปัญญาประดิษฐ์ในยุคดิจิทัล ตั้งแต่ระบบค้นคืนข้อมูล ระบบแนะนำอัจฉริยะ ระบบรู้จำภาพและเสียง ไปจนถึงระบบประมวลผลภาษาธรรมชาติ การพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้ต้องอาศัยความก้าวหน้าทั้งในด้านอัลกอริทึม โครงสร้างข้อมูล และสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ควบคู่กัน โดยสถาปัตยกรรมหรือโครงสร้างของปัญญาประดิษฐ์ ได้เปลี่ยนแปลงกระบวนการทัศน์ของการออกแบบอัลกอริทึมอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะมาแทนที่โครงสร้างแบบวนซ้ำด้วยกลไกความสนใจ (Attention Mechanism) ซึ่งสามารถประมวลผลข้อมูลแบบขนานและเรียนรู้ความสัมพันธ์อย่างมีประสิทธิภาพ [1] โดยแนวคิดดังกล่าวไม่เพียงยกระดับสมรรถนะของระบบประมวลผลภาษาธรรมชาติ แต่ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในสาขาอื่นของวิทยาการคอมพิวเตอร์อีกด้วย เช่น การมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) และชีวสารสนเทศ (Bioinformatics) เป็นต้น

ดังนั้นความสำเร็จของการออกแบบอัลกอริทึมของปัญญาประดิษฐ์ จึงได้จุดประกายแนวโน้มการพัฒนาแบบจำลองที่อาศัยการเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์และข้อมูลฝึกฝนเป็นกลยุทธ์หลัก ดังปรากฏให้เห็นได้จากงานวิจัยหลายฉบับที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างขนาดของแบบจำลองกับสมรรถนะในการทำงานเชิงภาษา [2] อย่างไรก็ตาม การขยายขนาดแบบจำลองดังกล่าวเริ่มสร้างภาระอย่างมีนัยสำคัญต่อระบบคอมพิวเตอร์และโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ต้องการการใช้ทรัพยากรสูงขึ้นตามไปด้วย จากบริบทดังกล่าว จึงเกิดแนวคิดในการออกแบบอัลกอริทึมที่เน้นประสิทธิภาพเชิงโครงสร้างและการใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสม เมื่อเป็นเช่นนั้นกลุ่มนักวิทยาการคอมพิวเตอร์จึงให้ความสนใจกับ สถาปัตยกรรมแบบ Mixture of Experts มากขึ้น และถือได้ว่าเป็นหนึ่งในแนวทางที่ได้รับการยอมรับในวงกว้าง เนื่องจากสามารถเพิ่มขนาดแบบจำลองในเชิงพารามิเตอร์ได้โดยไม่เพิ่มภาระการคำนวณในสัดส่วนเดียวกัน [3]

พัฒนาการของแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model : LLM)

การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์นั้นทีมผู้พัฒนาระบบจะใช้ภาษาคอมพิวเตอร์หลายหลายภาษา และไม่ได้จำกัดด้วยภาษาเดียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ประสิทธิภาพที่ต้องการ และสภาพแวดล้อมของระบบ แต่ทั้งนี้โดยส่วนใหญ่ของระบบปัญญาประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นมาในปัจจุบันมักนิยมใช้ Python เป็นภาษาหลักในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยเฉพาะระบบที่เน้นการทำงานแบบ Deep Learning และ Large Language Models เนื่องจากมีระบบนิเวศของเครื่องมือที่ครบถ้วน [4] โดย Large Language Model: LLM คือ แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ที่พัฒนาด้วยเทคนิค Deep Learning เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจ สร้าง และโต้ตอบด้วยภาษามนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรองรับการทำงานภาษาของมนุษย์หลายภาษาได้ [2] ดังนั้นการพัฒนาระบบ Generative AI ในยุคปัจจุบันต้องอาศัย LLM เป็นกลไกหลักในการประมวลผลภาษาและความรู้เชิงข้อความ และนอกจากนี้ LLM จะทำหน้าที่เป็นแกนกลางของสถาปัตยกรรม ในขณะที่ยังประกอบอื่น ๆ จะช่วยสนับสนุนการจัดการข้อมูล การปรับขนาด และการประยุกต์ใช้งานจริง [5] การพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์นั้นไม่เพียงขึ้นอยู่กับการพัฒนา

แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ แต่ต้องมีรากฐานมาจากการเรียนรู้เชิงสถิติและแบบจำลองความน่าจะเป็น โดยก่อนที่จะพัฒนาไปสู่การใช้เครือข่ายประสาทเทียมเชิงลึก ซึ่งถือได้ว่าเป็นเทคนิคหนึ่งที่สำคัญของระบบปัญญาประดิษฐ์ การเปลี่ยนผ่านจากแบบจำลองเชิงสถิติแบบดั้งเดิมไปสู่แบบจำลองเชิงลึก สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของการเพิ่มขีดความสามารถในการแทนความหมายของข้อมูล [6] ทั้งนี้แบบจำลองภาษายุคใหม่ เช่น Generative Pre-trained Transformer :GPT และ Bidirectional Encoder Representations from Transformers :BERT แสดงให้เห็นว่าการฝึกแบบจำลองบนข้อมูลขนาดใหญ่ร่วมกับสถาปัตยกรรมที่เหมาะสม สามารถสร้างองค์ความรู้เชิงภาษาที่นำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย อย่างไรก็ตาม แม้จะเห็นได้ว่าระบบปัญญาประดิษฐ์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตอบสนองการทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน แต่การพัฒนาในทิศทางดังกล่าวยังคงเผชิญข้อจำกัดด้านการใช้ทรัพยากรอยู่เช่นเดิม ดังนั้นจึงยังมีการค้นหาแนวทางการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในเชิงระบบ [5] ต่อไป

เทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering)

การเรียนรู้ของเครื่องจักรมี 3 ประเภท คือ 1) Supervised Learning เป็นการเรียนรู้แบบมีผู้สอน 2) Unsupervised Learning เป็นการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน และ 3) Reinforcement Learning เป็นการเรียนรู้ที่ให้ตัวแทนเรียนรู้ผ่านการโต้ตอบกับสภาพแวดล้อม [7] โดยเทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering) เป็นการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบไม่มีผู้สอน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยโดยอาศัยความคล้ายคลึงหรือความสัมพันธ์ภายในข้อมูล โดยไม่ต้องอาศัยชุดข้อมูลฝึก [8] ซึ่งเทคนิคนี้มีบทบาทสำคัญในการทำความเข้าใจกับโครงสร้างของข้อมูลที่มีจำนวนมากๆ ได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาจากมุมมองเชิงทฤษฎี จะพบว่าเทคนิคการจัดกลุ่ม จะทำหน้าที่เป็นกลไกในการลดมิติของปัญหา (Problem Complexity Reduction) โดยจะทำการแปลงข้อมูลจำนวนมากให้กลายเป็นโครงสร้างเชิงนามธรรมที่สามารถจัดการได้ง่ายขึ้น การลดความซับซ้อนในลักษณะนี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออัลกอริทึมที่ต้องประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่แบบเรียลไทม์ เช่น ระบบค้นคืนข้อมูล ระบบวิเคราะห์เครือข่าย และระบบปัญญาประดิษฐ์ [9] [15] ดังนั้นถ้าหากพิจารณาในบริบทของวิทยาการข้อมูล เทคนิคการจัดกลุ่มจึงมิได้ถูกใช้เพียงเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสำรวจ หากแต่ถูกนำมาเป็นองค์ประกอบเชิงโครงสร้างของระบบด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น การจัดกลุ่มโหนดในระบบกระจาย การจัดกลุ่มคำหรือเอกสารในระบบค้นคืนข้อมูล และการจัดกลุ่มพฤติกรรมผู้ใช้ในระบบแนะนำอัจฉริยะ เป็นต้น ซึ่งจากที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นการทำงานที่ล้วนแต่เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณและการจัดสรรทรัพยากรของระบบให้มีความเหมาะสม

เทคนิคการจัดกลุ่มสามารถจำแนกออกเป็นหลายประเภทตามหลักการและวิธีการคำนวณ โดยแต่ละประเภทมีคุณลักษณะเชิงทฤษฎีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้พอสรุปได้ว่าเทคนิคการจัดกลุ่มจำแนกออกเป็นดังนี้ การจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วน (Partition-based Clustering) การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้น (Hierarchical Clustering) การจัดกลุ่มแบบอาศัยความหนาแน่น (Density-based Clustering) และการจัดกลุ่มแบบอาศัยแบบจำลอง (Model-based Clustering) [8] เป็นต้น ทั้งนี้เทคนิคการจัดกลุ่มแบบแบ่งส่วน ที่เรียกว่า เทคนิค K-means เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในทางวิทยาการข้อมูลเนื่องจากมีความเรียบง่ายและ

ประสิทธิภาพเชิงคำนวณสูง อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านการกำหนดจำนวนกลุ่มล่วงหน้าและความไวต่อการกำหนดค่าเริ่มต้น ในขณะที่การจัดกลุ่มแบบลำดับขั้นสามารถสะท้อนโครงสร้างเชิงลำดับของข้อมูลได้ดีกว่า แต่มีต้นทุนเชิงคำนวณสูงและไม่เหมาะกับข้อมูลขนาดใหญ่ ในขณะเดียวกันการจัดกลุ่มแบบอาศัยความหนาแน่น เช่น DBSCAN จะมีความสามารถในการตรวจจบบางกลุ่มที่มีรูปร่างซับซ้อนและจัดการกับข้อมูลรบกวนได้ดี แต่มีข้อจำกัดในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ส่วนการจัดกลุ่มแบบอาศัยแบบจำลอง เช่น Gaussian Mixture Models มีความยืดหยุ่นเชิงสถิติสูง แต่ต้องอาศัยสมมติฐานเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งอาจไม่สอดคล้องกับข้อมูลจริงในระบบขนาดใหญ่ หากแต่ทั้งนี้ยังสามารถจำแนกเทคนิคการจัดกลุ่มออกเป็นสองลักษณะคือ การจัดกลุ่มแบบ Soft Clustering และการจัดกลุ่มแบบ Hard Clustering ซึ่งการจัดกลุ่มแบบ Soft Clustering เป็นแนวคิดที่ขยายจากการจัดกลุ่มแบบ Hard Clustering โดยอนุญาตให้ข้อมูลหนึ่งรายการสามารถมีค่าสมาชิกในหลายกลุ่มพร้อมกันในระดับความน่าจะเป็นที่แตกต่างกัน ซึ่งแนวคิดดังกล่าวนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบอัลกอริทึมที่ต้องจัดการกับความไม่แน่นอนและความซ้อนทับของข้อมูล [6]

ในเชิงทฤษฎี เทคนิคการจัดกลุ่มแบบ Soft Clustering มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับแบบจำลองเชิงความน่าจะเป็นและการเรียนรู้เชิงสถิติ เช่น Gaussian Mixture Models ซึ่งมองว่าข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นจากการผสมของการแจกแจงข้อมูลหลายชุด ซึ่งแนวคิดนี้ได้กลายเป็นรากฐานสำคัญของสถาปัตยกรรม Mixture of Experts ที่ใช้เป็นกลไกการคำนวณเชิงเงื่อนไขในการเลือกส่วนย่อยของแบบจำลองให้เหมาะสมกับข้อมูลนำเข้า [3] เทคนิคการจัดกลุ่มจึงถือได้ว่าเป็นกระบวนการจัดระเบียบการทำงาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถควบคุมความซับซ้อนที่เกิดจากการมีองค์ประกอบจำนวนมากและความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น [10] การแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อยจะช่วยลดภาระในการประมวลผลเชิงรวมศูนย์และเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของระบบปัญญาประดิษฐ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ เช่น ระบบคลาวด์ เป็นต้น จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าเทคนิคการจัดกลุ่มมักจะถูกนำมาใช้ในการจัดสรรทรัพยากร การกระจายโหลด และการเพิ่มเสถียรภาพของระบบ ซึ่งหลักการนี้มีความสอดคล้องกับการออกแบบสถาปัตยกรรมแบบกระจาย ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของระบบปัญญาประดิษฐ์ยุคใหม่ [11] และหากพิจารณาในบริบทของการออกแบบสถาปัตยกรรมปัญญาประดิษฐ์แล้ว เทคนิคการจัดกลุ่มไม่ได้จำกัดอยู่เพียงในระดับข้อมูลเพื่อทำการพยากรณ์หรือทำนายเท่านั้น หากแต่ขยายไปสู่ระดับการออกแบบแบบจำลองและอัลกอริทึมต่าง ๆ ด้วย ตัวอย่างเช่น การแบ่งโมดูลของแบบจำลอง การแยกหน้าที่ของเครือข่ายประสาทเทียม และการเลือกเส้นทางการประมวลผลที่เหมาะสมกับข้อมูลแต่ละประเภท ดังนั้นจึงสะท้อนให้เห็นว่าการจัดกลุ่มทำหน้าที่เป็นหลักการเชิงสถาปัตยกรรม (Architectural Principle) ที่ช่วยกำหนดโครงสร้างและพฤติกรรมของระบบปัญญาประดิษฐ์ในระดับสูง ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของสถาปัตยกรรม Mixture of Experts และระบบปัญญาประดิษฐ์อย่าง DeepSeek ในเวลาต่อมา

เทคนิคการจัดกลุ่มกับการเรียนรู้การแทนความหมาย (Representation Learning) ในโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก

การเรียนรู้การแทนความหมาย (Representation Learning) เป็นแนวคิดหลักของการเรียนรู้เชิงลึกที่มุ่งเน้นให้เครื่องจักรสามารถเรียนรู้คุณลักษณะเชิงนามธรรมของข้อมูลจากข้อมูลดิบได้โดยอัตโนมัติ แทนการออกแบบคุณลักษณะด้วยมนุษย์

ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จของระบบปัญญาประดิษฐ์ในหลากหลายสาขา เช่น การประมวลผลภาษาธรรมชาติ การรู้จำภาพ และการวิเคราะห์สัญญาณ [6] ทั้งนี้ในบริบทของแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ การแทนความหมายเชิงลึกช่วยให้แบบจำลองสามารถจับความสัมพันธ์เชิงบริบท ความหมายเชิงนัย และโครงสร้างเชิงไวยากรณ์ของภาษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ การแทนความหมายดังกล่าวมักอยู่ในรูปของเวกเตอร์มิติสูงที่สะท้อนคุณสมบัติหลากหลายของข้อมูล ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของกระบวนการเรียนรู้ชั้นถัดไป อย่างไรก็ตาม การแทนความหมายที่มีมิติสูงและความซับซ้อนมากขึ้นย่อมนำไปสู่ภาระในการประมวลผลและการจัดสรรทรัพยากรของเครื่องจักร โดยเฉพาะในเครื่องจักรที่ต้องรองรับข้อมูลและผู้ใช้งานจำนวนมาก ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นแรงผลักดันให้เกิดการผานแนวคิดการจัดกลุ่มเข้ากับการเรียนรู้การแทนความหมายเพื่อควบคุมความซับซ้อนของเครื่องจักร โดยเมื่อข้อมูลถูกแปลงให้อยู่ในรูปของการแทนความหมายเชิงเวกเตอร์ การจัดกลุ่มก็สามารถถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาโครงสร้างเชิงความหมายที่ซ่อนอยู่ การจัดกลุ่มในระดับนี้ช่วยให้ระบบสามารถแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มที่มีลักษณะเชิงความหมายใกล้เคียงกัน ซึ่งมีผลต่อการลด search space และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ [8] จากที่กล่าวมาพบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการจัดกลุ่มบนการแทนความหมายที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าเทคนิคการจัดกลุ่มบนข้อมูลดิบ เนื่องจากการแทนความหมายเชิงลึกสามารถกรองข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องได้ดีและเน้นคุณลักษณะที่สำคัญต่อการเรียนรู้ของเครื่องจักร [8] ทั้งนี้ในระบบประมวลผลภาษาธรรมชาติ เทคนิคการจัดกลุ่มของเวกเตอร์ที่เป็นคำหรือเวกเตอร์ที่เป็นประโยคสามารถสะท้อนความสัมพันธ์เชิงความหมาย เช่น คำพ้องความหมาย กลุ่มหัวข้อ หรือโครงสร้างเชิงไวยากรณ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบระบบค้นคืนข้อมูลและระบบแนะนำอัจฉริยะ

ดังนั้นเทคนิคการจัดกลุ่มในระบบปัญญาประดิษฐ์สมัยใหม่จึงมิได้เป็นกระบวนการคงที่ หากแต่มีลักษณะเชิงพลวัตที่สามารถปรับเปลี่ยนไปตามการเรียนรู้ของเครื่องจักร การจัดกลุ่มเชิงพลวัต (Dynamic Clustering) จะช่วยให้ระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถปรับโครงสร้างกลุ่มของข้อมูลให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงข้อมูลและสภาพแวดล้อม ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ต้องรองรับข้อมูลแบบสตรีมและการใช้งานจริงในระยะยาว จะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มเชิงพลวัตมีความสัมพันธ์กับการเรียนรู้แบบปรับตัวและการเรียนรู้แบบออนไลน์ ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถรักษาสมรรถนะได้แม้เผชิญกับการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบข้อมูล [3]

สถาปัตยกรรม Mixture of Experts (MoE) ในมุมมองเชิงโครงสร้างและเชิงคำนวณ

สถาปัตยกรรม Mixture of Experts (MoE) ถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อข้อจำกัดของรูปแบบแบบหนาแน่น (Dense Models) ซึ่งรูปแบบนี้จะเปิดใช้งานพารามิเตอร์ทั้งหมดในทุกขั้นตอนการประมวลผล แม้ในกรณีที่ข้อมูลนำเข้ามีความซับซ้อนเพียงบางส่วน [3] โดยรูปแบบดังกล่าวนำไปสู่การใช้ทรัพยากรการคำนวณเกินความจำเป็น โดยเฉพาะในแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนพารามิเตอร์ในระดับมหาศาล สถาปัตยกรรมแบบ MoE ที่ถูกนำมาใช้แทนนั้นได้เสนอแนวคิดการแบ่งรูปแบบออกเป็นหน่วยย่อยที่เรียกว่า “ผู้เชี่ยวชาญ” (Experts) ซึ่งแต่ละหน่วยถูกออกแบบให้มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน โดยในแต่ละขั้นตอนการประมวลผล ระบบจะเลือกใช้งานผู้เชี่ยวชาญเพียงบางส่วนผ่านกลไกการเลือกเส้นทาง (Routing หรือ Gating)

ซึ่งวิธีนี้จะช่วยให้รูปแบบสามารถเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์ได้โดยไม่เพิ่มต้นทุนการคำนวณในสัดส่วนเดียวกัน [12] ดังนั้นสถาปัตยกรรม MoE จึงมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการจัดกลุ่มแบบ Soft Clustering เนื่องจากกลไก Gating ทำหน้าที่คล้ายตัวจัดกลุ่มที่กำหนดความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลไปยังผู้เชี่ยวชาญแต่ละราย ซึ่งสะท้อนการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มเชิงฟังก์ชันภายในโมเดล

โดยทั่วไป สถาปัตยกรรม MoE จะประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ (1) ชุดผู้เชี่ยวชาญ (Expert Networks) (2) กลไกการเลือกเส้นทางหรือ Gating Network และ (3) กลไกการรวมผลลัพธ์ (Aggregation Mechanism) ซึ่งชุดผู้เชี่ยวชาญมักถูกออกแบบเป็นเครือข่ายประสาทเทียมย่อยที่มีโครงสร้างคล้ายกัน แต่ได้รับการฝึกฝนให้ตอบสนองต่อรูปแบบข้อมูลที่แตกต่างกัน ในขณะที่ กลไกการเลือกเส้นทาง ทำหน้าที่ประเมินข้อมูลนำเข้าและกำหนดน้ำหนักหรือความน่าจะเป็นในการเลือกผู้เชี่ยวชาญแต่ละราย และกลไกการรวมผลลัพธ์จากผู้เชี่ยวชาญที่ถูกเลือกจะถูกนำมาประกอบเป็นผลลัพธ์สุดท้ายของรูปแบบ อาจกล่าวได้ว่าสถาปัตยกรรม MoE จะช่วยให้การประมวลผลมีลักษณะเชิงเงื่อนไข (Conditional Computation) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของปัญญาประดิษฐ์ ลดภาระการคำนวณในระบบขนาดใหญ่ได้เป็นอย่างดี [3] ซึ่งเมื่อศึกษางานวิจัยด้าน สถาปัตยกรรม MoE ทำให้สามารถจำแนกสถาปัตยกรรมออกเป็นหลายประเภทตามลักษณะของกลไกการเลือกเส้นทางและระดับในการคำนวณ โดยสามารถสรุปเป็นกลุ่มหลัก ได้แก่ MoE แบบดั้งเดิม, Sparse MoE และ Conditional MoE เพื่อให้เห็นภาพความแตกต่างของสถาปัตยกรรม MoE จึงสรุปได้ดังนี้ [12]

ตารางที่ 1 การจำแนกประเภทของสถาปัตยกรรม Mixture of Experts

ประเภท MoE	ลักษณะเด่น	กลไกการเลือกเส้นทาง	ภาระการคำนวณ
MoE แบบดั้งเดิม	ใช้ผู้เชี่ยวชาญหลายรายพร้อมกัน	Soft Gating	สูง
Sparse MoE	เลือกผู้เชี่ยวชาญเพียงบางส่วน	Top-k Gating	ปานกลาง
Conditional MoE	คำนวณตามเงื่อนไขของข้อมูล	Learned Routing	ต่ำ

กลไก Gating ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของสถาปัตยกรรม MoE โดยกำหนดว่าข้อมูลนำเข้าควรถูกส่งไปประมวลผลโดยผู้เชี่ยวชาญรายใด กลไกนี้สามารถตีความได้ว่าเป็นกระบวนการจัดกลุ่มเชิงฟังก์ชัน (Functional Clustering) ที่จัดกลุ่มข้อมูลตามลักษณะการประมวลผลที่เหมาะสม การออกแบบกลไก Gating ที่มีประสิทธิภาพจึงต้องคำนึงถึงทั้งความแม่นยำในการเลือกผู้เชี่ยวชาญและความสมดุลของโหลดระหว่างผู้เชี่ยวชาญต่าง ๆ จากการศึกษพบว่าปัญหาความไม่สมดุลของโหลดเป็นหนึ่งในความท้าทายสำคัญของสถาปัตยกรรม MoE ซึ่งต้องอาศัยเทคนิคการปรับสมดุลเพิ่มเติม [3] เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้นจึงเปรียบเทียบสถาปัตยกรรมระหว่าง Dense Transformer และ MoE Transformer ดังตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบ Dense Transformer และ MoE Transformer

รายการ	Dense Transformer	MoE Transformer
การใช้พารามิเตอร์	ใช้ทั้งหมดทุกครั้ง	ใช้บางส่วน
รูปแบบการคำนวณ	ซับซ้อน	ไม่ซับซ้อน
ความสามารถในการขยายขนาด	ขยายขนาดมีขีดจำกัด	ขยายขนาดได้มาก
การจัดสรรทรัพยากร	คงที่	ปรับตามข้อมูล
ความซับซ้อนเชิงระบบ	ต่ำกว่า	สูงกว่า

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าสถาปัตยกรรม MoE ช่วยเพิ่มความสามารถในการขยายขนาดของรูปแบบโดยไม่เพิ่มภาระการคำนวณในระดับเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามความซับซ้อนเชิงระบบที่ใช้ในการคำนวณที่เพิ่มขึ้นจำเป็นต้องได้รับการจัดการที่เหมาะสมในระดับสถาปัตยกรรม ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในภาพรวม จะเห็นได้ว่าสถาปัตยกรรม MoE เมื่อนำมาใช้งานร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่มจะเกิดการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหลักการนี้ช่วยให้ระบบสามารถควบคุมความซับซ้อนเชิงคำนวณเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และสนับสนุนการออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถขยายขนาดได้อย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของระบบปัญญาประดิษฐ์อย่าง DeepSeek นั่นเอง

แนวคิดการคำนวณแบบ Sparse และการคำนวณเชิงเงื่อนไข

ข้อจำกัดประการหนึ่งของการคำนวณแบบ Dense Computation ในระบบคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศสมัยใหม่คือต้องรองรับปริมาณข้อมูลและภาระงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การคำนวณแบบ Dense Computation จึงต้องเปิดใช้งานทรัพยากรทั้งหมดของระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผล โดยจะแสดงข้อจำกัดให้เห็นอย่างชัดเจน ทั้งในด้านเวลาหน่วยความจำ และพลังงาน ส่งผลให้การเพิ่มขนาดของรูปแบบหรือระบบเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อจำกัดของโครงสร้างพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์ในทางปฏิบัติ [11] ดังนั้นในบริบทของปัญญาประดิษฐ์ โดยเฉพาะในประเด็นของแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ การใช้การคำนวณแบบ Dense Computation ทำให้ทุกพารามิเตอร์ต้องถูกประมวลผลในทุกคำหรือทุกโทเคน แม้ข้อมูลนำเข้าจะต้องการเพียงความสามารถเฉพาะบางส่วนของรูปแบบเท่านั้น จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นแรงผลักดันให้เกิดแนวคิดการคำนวณแบบ Sparse และการคำนวณเชิงเงื่อนไขขึ้น โดยการคำนวณแบบ Sparse Computation ในเชิงสถาปัตยกรรมคือการคำนวณที่จะกระจายองค์ประกอบออกเป็นส่วนย่อย ๆ เพื่อลดจำนวนองค์ประกอบเหล่านั้นลง และเปิดใช้งานในเฉพาะที่ต้องการในแต่ละรอบการประมวลผล โดยเลือกใช้เฉพาะส่วนของระบบที่มีความจำเป็นต่อข้อมูลนำเข้าในขณะนั้น ทั้งนี้แนวคิดนี้มีบทบาทสำคัญในหลายระดับของระบบคอมพิวเตอร์ ตั้งแต่ระดับฮาร์ดแวร์ เช่น การจัดการหน่วยความจำและแคช ไปจนถึงระดับซอฟต์แวร์และอัลกอริทึม และเมื่อมองลงไปในระดับสถาปัตยกรรมของระบบปัญญาประดิษฐ์ การคำนวณแบบ Sparse ถูกนำมาใช้เพื่อควบคุมภาระการคำนวณของรูปแบบขนาดใหญ่ โดยบูรณาการร่วมกับสถาปัตยกรรม Mixture of Experts และจุดนี้เองจะเห็นได้ว่าเป็นการประยุกต์ใช้ในระดับแบบจำลอง ที่จะช่วยให้ระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์ได้โดยไม่เพิ่มต้นทุนการคำนวณในอัตราส่วนเดียวกัน [12]

การคำนวณเชิงเงื่อนไข (Conditional Computation) เป็นแนวคิดที่ต่อยอดจากการคำนวณแบบ Sparse Computation โดยเป็นการคำนวณหรือประมวลผลที่เน้นการตัดสินใจเชิงเงื่อนไข ว่าควรเปิดใช้งานส่วนใดของระบบในแต่ละสถานการณ์ ซึ่งหลักการในประเด็นนี้มีความสอดคล้องกับการออกแบบระบบคอมพิวเตอร์เชิงปรับตัว ที่สามารถตอบสนองต่อลักษณะของภาระงานที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ในสถาปัตยกรรม MoE ที่มีองค์ประกอบในประเด็นของกลไก Gating หรือการเลือกเส้นทาง ที่จะทำหน้าที่เป็นกลไกการตัดสินใจเชิงเงื่อนไขที่เลือกผู้เชี่ยวชาญที่เหมาะสมกับข้อมูลนำเข้าในแต่ละขั้นตอน การเลือกเส้นทางดังกล่าวช่วยลดภาระการคำนวณโดยรวมและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยเฉพาะในระบบที่ต้องรองรับการประมวลผลพร้อมกันจำนวนมากได้ [3] นอกจากหลักการที่กล่าวมาแล้ว 2 ประการ ยังอาจต้องให้แนวคิดในเรื่องของ เทคนิคการจัดกลุ่มเข้ามาผสมผสานกับการคำนวณหรือการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย ซึ่งเทคนิคดังกล่าวคือ เทคนิคการจัดกลุ่มเชิงเป้าหมาย (Targeted Clustering) ซึ่งเป็นแนวคิดที่ผสมผสานการจัดกลุ่มเข้ากับการคำนวณเชิงเงื่อนไขเข้าด้วยกัน โดยมุ่งเน้นการจัดกลุ่มข้อมูลหรือภาระงานตามลักษณะการใช้ทรัพยากรและความต้องการในการประมวลผล ซึ่งแนวคิดนี้จะช่วยให้ระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถจัดสรรทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม ลดความซ้ำซ้อน และเพิ่มอัตราการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ในบริบทของสถาปัตยกรรม MoE การจัดกลุ่มเชิงเป้าหมายช่วยให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละรายถูกออกแบบและปรับแต่งให้เหมาะสมกับกลุ่มข้อมูลเฉพาะ ส่งผลให้ระบบสามารถตอบสนองต่อข้อมูลที่มีความหลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น แนวคิดนี้มีบทบาทสำคัญต่อการออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ต้องการทั้งสมรรถนะและความยั่งยืนเชิงระบบ

จากแนวคิด วิธีการ หรือหลักการที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นล้วนแต่เป็นการนำไปใช้ในการออกแบบโครงสร้างและสถาปัตยกรรมของระบบปัญญาประดิษฐ์ DeepSeek [13] [16] [17] กล่าวคือ เมื่อเชื่อมโยงแนวคิดการคำนวณแบบ Sparse และการคำนวณเชิงเงื่อนไขเข้าไปในระบบปัญญาประดิษฐ์ DeepSeek จะทำให้การทำงานที่รองรับความซับซ้อนของข้อมูลขนาดใหญ่รองรับภาษาได้หลากหลาย ลดต้นทุนการคำนวณและเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อการใช้งานจริงนอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการจัดกลุ่ม และสถาปัตยกรรม MoE มีใช้เพียงเทคนิคเชิงอัลกอริทึม หากแต่เป็นหลักการออกแบบระบบคอมพิวเตอร์ที่มีนัยสำคัญต่อการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ DeepSeek ในเวอร์ชันรุ่นใหม่ ๆ ในอนาคต

บทบาทของเทคนิคการจัดกลุ่ม และ สถาปัตยกรรม Mixture of Experts ในระบบปัญญาประดิษฐ์ DeepSeek

DeepSeek เป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มผู้ใช้งาน และยิ่งได้รับความนิยมมากขึ้นเมื่อ DeepSeek ได้นำเสนอแนวทางการออกแบบแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ที่เน้นประสิทธิภาพเชิงระบบ ควบคู่กับใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบเทคนิคการจัดกลุ่ม แม้ว่ารายละเอียดเชิงลึกบางส่วนจากระบบจะไม่ถูกเปิดเผยอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากเป็นความลับทางการค้า และเพื่อป้องกันการแย่งความเป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีจากคู่แข่ง แต่จากการสืบค้น ค้นคว้า และการวิเคราะห์เอกสาร พบว่า DeepSeek ใช้แนวคิดการออกแบบที่สอดคล้องกับสถาปัตยกรรมแบบ Sparse และการคำนวณเชิงเงื่อนไข (ซึ่งมีรากฐานมาจากเทคนิคการจัดกลุ่ม และ สถาปัตยกรรม Mixture of Experts (MoE)) และหากพิจารณาจากมุมมองเชิงวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จะพบอีกว่า DeepSeek ไม่ได้มุ่งเน้นการเพิ่มจำนวนพารามิเตอร์เพียงอย่างเดียว หากแต่ให้ความสำคัญกับ

การควบคุมการใช้ทรัพยากร การกระจายโหนดการคำนวณ และความสามารถในการปรับขนาดของระบบ ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญในการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์

หากแต่อาจมีคำถามว่า แล้วทำไมระบบปัญญาประดิษฐ์ DeepSeek จึงใช้แนวคิดเทคนิคการจัดกลุ่มและ สถาปัตยกรรมแบบ Mixture of Experts มาเป็นโครงสร้างหลัก และเมื่อพิจารณาแล้วจะพบว่า เทคนิคการจัดกลุ่มในระบบ DeepSeek สามารถตีความได้ในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับการแทนความหมายของข้อมูล ไปจนถึงระดับการจัดกลุ่มฟังก์ชันการประมวลผลภายในแบบจำลอง เทคนิคการจัดกลุ่มยังช่วยให้ระบบสามารถแยกข้อมูลที่มีลักษณะเชิงความหมายแตกต่างกันออกจากกัน [14] และเลือกใช้ทรัพยากรการคำนวณที่เหมาะสมกับข้อมูลแต่ละประเภทในระดับสถาปัตยกรรม และที่สำคัญที่สุดคือเทคนิคการจัดกลุ่มมีบทบาทในการกำหนดโครงสร้างของผู้เชี่ยวชาญในสถาปัตยกรรม MoE โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละรายสามารถถูกมองว่าเป็นตัวแทนของกลุ่มฟังก์ชันการประมวลผลที่แตกต่างกัน การออกแบบในลักษณะนี้ช่วยลดความซ้ำซ้อนของการคำนวณและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม จากที่กล่าวมา DeepSeek จึงใช้แนวคิดสถาปัตยกรรมแบบ Mixture of Experts เพื่อสนับสนุนการคำนวณเชิงเงื่อนไข โดยกลไกการเลือกเส้นทางทำหน้าที่กำหนดว่าข้อมูลนำเข้าควรถูกส่งไปประมวลผลโดยผู้เชี่ยวชาญรายใดในแต่ละขั้นตอน แนวคิดดังกล่าวช่วยให้ระบบสามารถใช้พารามิเตอร์จำนวนมากโดยไม่เพิ่มภาระการคำนวณในระดับเดียวกัน และยังช่วยให้การขยายขนาดของโมเดลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถเพิ่มจำนวนผู้เชี่ยวชาญเพื่อรองรับความหลากหลายของข้อมูลและภาระงานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่ออย่างมีนัยสำคัญต่อเวลาในการตอบสนองของระบบ

จากกรณีของ ระบบปัญญาประดิษฐ์ DeepSeek ถือได้ว่าเป้าหมายความสำเร็จของระบบปัญญาประดิษฐ์ ที่ไม่ได้เกิดจากการเลือกใช้เทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งโดยลำพัง หากแต่เกิดจากการผสมผสานแนวคิดเชิงทฤษฎีและเชิงสถาปัตยกรรมอย่างเป็นระบบ อย่างเช่น เทคนิคการจัดกลุ่มและสถาปัตยกรรมแบบ Mixture of Experts ที่ทำหน้าที่เป็นกลไกหลักในการควบคุมความซับซ้อน เพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณ และสนับสนุนการขยายขนาดของระบบ ระบบปัญญาประดิษฐ์ DeepSeek สะท้อนให้เห็นแนวโน้มการออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ที่มุ่งเน้นความยั่งยืนเชิงระบบ มากกว่าการแข่งขันด้านขนาดของแบบจำลองเพียงอย่างเดียว ดังนั้นบทบาทของเทคนิคการจัดกลุ่ม และสถาปัตยกรรมแบบ Mixture of Experts จึงอยู่ในฐานะกลไกสำคัญที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของระบบ DeepSeek ผ่านมุมมองเชิงทฤษฎีและเชิงสถาปัตยกรรม ผลการวิเคราะห์เอกสารชี้ให้เห็นว่าแนวคิดดังกล่าวมีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมความซับซ้อน การเพิ่มประสิทธิภาพการคำนวณ และการออกแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถขยายขนาดได้อย่างยั่งยืน และข้อค้นพบเชิงแนวคิดจากบทความนี้อาจจะใช้เป็นกรอบอ้างอิงสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์และระบบคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ในอนาคต โดยเฉพาะในบริบทของการจัดการข้อมูลและทรัพยากรในระดับขนาดใหญ่

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Vaswani et al., “Attention Is All You Need,” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 30, 2017, pp. 5998–6008.
- [2] T. B. Brown et al., “Language Models are Few-Shot Learners,” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 33, 2020, pp. 1877–1901.
- [3] N. Shazeer et al., “Outrageously Large Neural Networks: The Sparsely-Gated Mixture-of-Experts Layer,” in *Proc. Int. Conf. Learning Representations (ICLR)*, 2017.
- [4] A. Paszke et al., “PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library,” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 32, 2019, pp. 8024–8035.
- [5] R. Bommasani et al., “On the Opportunities and Risks of Foundation Models,” *arXiv preprint arXiv:2108.07258*, 2021. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2108.07258>. [Accessed: Feb. 2, 2026].
- [6] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2016.
- [7] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York, NY, USA: Springer, 2006.
- [8] A. K. Jain, “Data clustering: 50 years beyond k-means,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 31, no. 8, pp. 651–666, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.patrec.2009.09.011.
- [9] T. Zhang, H. Guo, W. Lu, T. Dai, S.-T. Xia, and J. Wang, “SPARSEEVAL: Efficient Evaluation of Large Language Models by Sparse Optimization,” in *Proc. Int. Conf. Learning Representations (ICLR)*, 2026. [Online]. Available: <https://openreview.net/forum?id=CZAzAedGSV>. [Accessed: Feb. 10, 2026].
- [10] M. Mitchell, *Complexity: A Guided Tour*. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 2009.
- [11] S. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Pearson, 2020.
- [12] W. Fedus, B. Zoph, and N. Shazeer, “Switch Transformers: Scaling to Trillion Parameter Models with Simple and Efficient Sparsity,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 23, no. 120, pp. 1–39, 2022.
- [13] S. Xu, “The Complete Guide to DeepSeek Models: V3, R1, V4 and Beyond,” *BentoML Blog*, Apr. 24, 2026. [Online]. Available: <https://www.bentoml.com/blog/the-complete-guide-to-deepseek-models-from-v3-to-r1-and-beyond>. [Accessed: Feb. 10, 2026].

-
- [14] J. Dean and S. Ghemawat, "MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters," in *Proc. 6th Symp. Operating Systems Design and Implementation (OSDI)*, San Francisco, CA, USA, Dec. 2004, pp. 137–150.
- [15] J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, and K. Toutanova, "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding," in *Proc. 2019 Conf. North American Chapter Assoc. Comput. Linguistics: Human Language Technologies (NAACL-HLT)*, Minneapolis, MN, USA, 2019, pp. 4171–4186, doi: 10.18653/v1/N19-1423.
- [16] DeepSeek-AI, "DeepSeek-V2: A Strong, Economical, and Efficient Mixture-of-Experts Language Model," *arXiv preprint arXiv:2405.04434*, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2405.04434>. [Accessed: Feb. 2, 2026].
- [17] D. Dai *et al.*, "DeepSeekMoE: Towards Ultimate Expert Specialization in Mixture-of-Experts Language Models," in *Proc. 62nd Annu. Meeting Assoc. Comput. Linguistics (ACL)*, Bangkok, Thailand, Aug. 2024, pp. 1280–1297, doi: 10.18653/v1/2024.acl-long.70.