

JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY (JIST)

ISSN 2651-1053 (Online), ISSN 1906-9553 (Print)

The Journal of Information Science and Technology (JIST) is an academic journal established by the collaboration of 22 faculties that conduct courses related to Information Technology, namely, Bangkok University, Dhurakij Pundit University, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Mae Fah Luang University, Mahanakorn University of Technology, Maharakham University, Mahidol University, Nakhon Phanom University, Panyapiwat Institute of Management, Prince of Songkla University, Rangsit University, Siam University, Silpakorn University, Sripatum University, Thai-Nichi Institute of Technology, Walailak University, Burapha University, Phayao University, Ubon Ratchathani Rajabhat University and Khon Kaen University. According to the agreement of all faculties in the Council of IT Deans of Thailand (CITT).

The journal was established in 2010 and plans to publish 2 issues per year (JANUARY – JUNE and JULY – DECEMBER). The journal was established first print journal publication in 2010 (Vol 1. No. 1) with ISSN 1906-9553 (Print) and plans to publish 2 issues per year on during January - June and July - December. Also the journal was established first online journal publication in 2010 (Vol 1. No.1) with ISSN 2651-1053 (Online) and plans to publish 2 issues per year on during January - June and July - December.

ADVISORY BOARD

Werasak Kurutach
Mahanakorn University of Technology,
Thailand

Aziz Nanthaamornbong
Prince of Songkla University, Thailand

Dechanuchit Katanyutaveetip
Siam University, Thailand

Khajit Na Kalasindhu
Nakhon Phanom University, Thailand

Pattanasak Mongkolwat
Mahidol University, Thailand

Phannachet Na Lamphun
Panyapiwat Institute of Management,
Thailand

Poonpong Boonbrahm
Walailak University,
Thailand

Sirapat Chiewchanwattan
Khon Kaen University, Thailand

Supawee Makdee
Ubon Ratchathani Rajabhat University,
Thailand

Nipon Charoenkitkarn
King Mongkut's University of Technology
Thonburi, Thailand

Chaiyaporn Khemapatapan
Dhurakij Pundit University, Thailand

Jantima Polpinij
Maharakham University, Thailand

Krisana Chinnasarn
Burapha University,
Thailand

Panavy Pookaiyudom
Mahanakorn University of Technology,
Thailand

Phattanapon Rhienmora
Bangkok University, Thailand

Pornthep Rojanavas
University of Phayao, Thailand

Siridech Boonsang
King Mongkut's Institute of Technology
Ladkrabang, Thailand

Teeravisit Laohapensaeng
Mae Fah Luang University, Thailand

Rattikorn Warakoolsiriphan
Thai-Nichi Institute of Technology,
Thailand

Chetneti Srisaan
Rangsit University, Thailand

Khajit Na Kalasindhu
Nakhon Phanom University,
Thailand

Narongrit Waraporn
King Mongkut's University of
Technology Thonburi, Thailand

Nathaporn Karnjapoomi
Silpakorn University, Thailand

Paralee Maneerat
Sripatum University, Thailand

Pisit Charnkeitkong
Panyapiwat Institute of
Management, Thailand

Pornthep Rojanavas
University of Phayao, Thailand

Sunantha Sodsee
King Mongkut's University of
Technology North Bangkok,
Thailand

JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY (JIST)

ISSN 2651-1053 (Online), ISSN 1906-9553 (Print)

EDITOR IN CHIEF

Aziz Nanthaamornbong, Prince of Songkla University, Thailand
Datchakorn Tancharoen, Panyapiwat Institute of Management, Thailand

ASSOCIATE EDITOR

Pakapan Limtrairut
Bangkok University, Thailand

Sakorn Mekruksavanich
University of Phayao, Thailand

Rachasak Somyanonthanakul
Thammasart University, Thailand

Waraporn Jirapanthong
Dhurakij Pundit University,
Thailand

Warodom Werapun
Prince of Songkla University,
Thailand

Worasak Rueangsirarak
Mae Fah Luang University,
Thailand

EDITORIAL BOARD

Annop Monsakul
Panyapiwat Institute of
Management, Thailand

Anon Sukstrienwong
Bangkok University, Thailand

Chetneti Srisaan
Rangsit University, Thailand

Duangjai Jitkongchuen
Big Data Institute, Thailand

Kaboon Thongtha
Mahanakorn University of
Technology, Thailand

Nutchanat Buasri
Mahasarakham University,
Thailand

Pattanapon Rhienmora
Bangkok University, Thailand

Prajaks Jitngernmadan
Burapha University,
Thailand

Pramuk Boonsiang
Thai-Nichi Institute of
Technology, Thailand

Pruegsa Duangphasuk
R V Connex Co., Ltd., Thailand

Sakchai Tangwannawit
King Mongkut's University of
Technology North Bangkok, Thailand

Songsri Tangsripairoj
Mahidol University, Thailand

Rattana Wetprasit
Prince of Songkla University,
Thailand

Wanvipa Wongvilaisakul
Panyapiwat Institute of Management,
Thailand

Thitiporn Lertrusdachakul
Thai-Nichi Institute of
Technology, Thailand

CONTACT ADDRESS

Council of IT Deans of Thailand (CITT)
140 Moo 1, Cheum-Sampan Road, Nongchok,
Bangkok, Thailand 10530

Editor in Chief

Aziz Nanthaamornbong (PSU)
Datchakorn Tancharoen (PIM)

Associate Editor

Pakapan Limtrairut (BU)
Sakorn Mekruksavanich (UP)
Rachasak Somyanonthanakul (TU)
Waraporn Jirapanthong (DPU)
Worasak Rueangsirarak (MFU)
Warodom Werapun (PSU)

Editorial Board

Annop Monsakul (PIM)
Anon Sukstrienwong (BU)
Chetneti Srisaoan (RSU)
Duangjai Jitkongchuen (BDI)
Kaboon Thongtha (MUT)
Nuchanat Buasri (MSU)
Pattanapon Rhienmora (BU)
Prajaks Jitgermmanan (BUU)
Pramuk Boonsiang (TNI)
Pruegsa Duangphasak (RVC)
Rattana Wetprasit (PSU)
Sakchai Tangwannawit (KMUTNB)
Songsri Tangsirapairoj (MU)
Wanvipa Wongvilaisakul (PIM)
Thitiporn Lertrudachakul (TNI)

Advisory Board

Werasak Kurutach (MUT)
Nipon Charoenkitkarn (KMUTT)
Rattikorn Warakoolsiriphan (TNI)
Aziz Nanthaamornbong (PSU)
Chaiyaporn Khemapatapan (DPU)
Chetneti Srisaoan (RSU)
Dechanuchit Katanyutaveetip (SU)
Jantima Polpinij (MSU)
Khajit Na Kalasindhu (NPU)
Krisana Chinasarn (BUU)
Narongrit Waraporn (KMUTT)
Nathaporn Karnjnapoomi (SU)
Panavy Pookaiyaudom (MUT)
Paralee Maneerat (SPU)
Pattanasak Mongkolwat (MU)
Phannachet Na Lamphun (PIM)
Phattanapon Rhienmora (BU)
Pisit Charnkeitkong (PIM)
Poonpong Boonbrahm (WU)
Pornthep Rojanavasus (UP)
Sirapat Chiewchanwattan (KKU)
Siridech Boonsang (KMUTL)
Sunantha Sodsee (KMUTNB)
Supawee Makdee (UBRU)
Teeravisit Laohapensaeng (MFU)

Submissions

Online Journal Submission
<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/>

Publication Periodicity

Published 2 times a year in June and December.

(JAN - JUN and JULY - DEC).

(Indexed by TCI tier 2)

JIST Office Address

Council of IT Deans of Thailand (CITT), 140 Moo 1, Cheum-

The **Journal of Information Science and Technology (JIST)** aims to be the forum through which researchers, faculties, and experts of the computer and information technology and others technological related fields share and discuss their high quality research work as well as innovation. Original research articles, practical applications and innovations in the broad area of computer and information technology are suitable for publication in JIST.

• **Soft Computing:**

Artificial Intelligence, Fuzzy and Neural Computing, Genetic Algorithms, Intelligent Agents, Neural Networks, Natural Language Processing, Robotics and Automation, Image Processing

• **Human-Computer Interaction:**

Graphical User Interfaces, Multimedia, Interactive Systems, Computer-Supported Cooperative Work, Human Cognitive Skills, Visualization, and Computer Simulation

• **Information Assurance and Security:**

Cryptography, Forensics and Incident Response, Biometrics, Security Policies and Procedures

• **Information Systems:**

Databases, Information Retrieval, Transaction Processing, Distributed and Object Databases, Data Warehousing, Knowledge Management, Expert Systems, Multimedia Information Systems, Digital Libraries, Geographical Information Systems

• **Networking:**

Advanced Computer Networks, Internet Technology and Applications, Distributed Systems, Wireless and Mobile Computing, Data Compression, Network Security, Enterprise Networking, Digital Communications

• **Programming:**

Object-Oriented Programming, Event-Driven Programming, Functional Programming, Logic Programming, XML and other Extensible Languages, Parallel Programming

• **Platform Technologies:**

Advanced Computer Architecture, Parallel Architectures, Cluster / Grid Computing, RFID, Embedded Systems

• **System Integration and Architecture:**

Software Acquisition and Implementation, System Needs Assessment, Software Economics, Enterprise Systems, Computing Economics

• **Social and Professional Issues:**

Professional Practice, Social Context of Computing, Computers Ethics, IT Law, Intellectual Property, Privacy and Civil Rights

• **Web Systems and Technologies:**

Programming for the WWW, E-commerce, E-Learning, Content Management Systems, E-Government and E-Service

• **Multidisciplinary:**

Bioinformatics, Biomedical Information Systems, Nano Technology

• **e-Business and m-Business:**

e-Business Process Aspects, Intelligent e-Business System, m-Business, e-Supply Chain Management & e-Logistics, e-Customer Relationship Management, e-Negotiation, e-Payment, e-Business Design and Developments

• **Business and Information System:**

Information management for business applications, Enterprise systems and architecture, Business systems infrastructure design for information integration, Service-oriented architecture, Service-component architecture

• **Social and Business Aspects of Convergence IT and Ubiquitous Computing:**

Economics of emerging technologies, Home and community computing, Economic and social complexities in CIT and UC, New forms of media and communications

• **Internet of Things (IoT):**

IoT system architecture, IoT enabling technologies, IoT communication and networking protocols such as network coding, and IoT services and applications and technology development in different standard development organizations (SDO).

• **Cloud Computing:**

Auditing, monitoring, scheduling, resource registration/discovery, Automatic reconfiguration, self healing/monitoring, Service level agreements, integration, management

• **Fintech and blockchain:**

Development of Blockchain Security Enhancement Technologies, Platform Technology that Supports Safe Transactions, Financial and Economic Structures, Blockchain's Impacts on Workstyles, Fast Fintech for Smartphone Application Service Platform

JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY (JIST)

ISSN 2651-1053 (Online), ISSN 1906-9553 (Print)

Sampan Rd., Nongchok, Bangkok,
Thailand 10530

Peer Review Process

All submitted manuscripts must be reviewed by at least three expert reviewers via the double-blinded review system.

Manuscript Preparation Guide (Publication Charge: Free)

The template for writing the journal is available for downloading (jist_template_eng-2020.doc or jist_template_thai-2020.doc). Minimum length of the paper should be in between 6-16 pages of A4 size. Text should be typewritten or printed with double-spaced in 11-point of A4 white paper with margins of 1.5" for top, 1.25" for left, and 1" for bottom and right sides. All pages must be numbered sequentially. Here are some guidelines.

- Abstract with length 100-200 words in length.
- Introduction which discusses existing problem and related research
- Materials and methods used for experimentation, Results of the experiment, Discussion and conclusion, References Style is IEEE.



การจำแนกเด็กที่มีภาวะออทิสติกโดยประยุกต์การวิเคราะห์ภาพวาดด้วยการเรียนรู้เชิงลึก

Classification of Children with Autism using Deep Learning Image Analysis

สุดารัตน์ ภูทอง และชัยพร เขมะภาคะพันธ์*

*Sudarat Phuthong and Chaiyaporn Khemapatpapan**

สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

Computer Engineering Program, College of Engineering and Technology, Dhurakij Pundit University

Received: June 24, 2025; Revised: July 1, 2025; Accepted: August 5, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT – Currently, the diagnosis of autism in children still relies on behavioral observation and psychological tests, which may have limitations in terms of accuracy and speed. This research therefore applies machine learning techniques, especially convolutional neural networks (CNN) with the ResNet50 model, to analyze and classify drawings of children with and without autism. This helps to quickly screen for autism and reduce the impact of personal perspectives. This study will divide the samples into age groups of 5–8 and 9–12 years old, and the results were evaluated with Accuracy, Recall, Specificity, F1-Score, and Confusion Matrix. The experimental results showed that the model could classify drawings accurately, with an Accuracy of 81.9% and 89.5%, and an F1-Score of 0.83 and 0.91 for the 5–8 and 9–12 age groups, respectively. After using Data Augmentation, the accuracy increased to 87.7% and 91.1%, with an F1-Score of 0.89 and 0.93. However, the research still has limitations in terms of the size and variety of data, which should be expanded in the future to increase the accuracy of the model.

KEY WORDS -- Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Autism, Drawing Analysis, Machine Learning, ResNet50

บทคัดย่อ -- ปัจจุบันการวินิจฉัยภาวะออทิสติกในเด็กยังอาศัยการสังเกตพฤติกรรมและแบบทดสอบทางจิตวิทยา ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำและความรวดเร็ว งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ด้วยโมเดล ResNet50 เพื่อวิเคราะห์และจำแนกภาพวาดของเด็กที่มีและไม่มีภาวะออทิสติก ช่วยคัดกรองภาวะออทิสติกเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็ว ลดผลกระทบที่เกิดจากมุมมองส่วนบุคคล การศึกษานี้จะแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามช่วงอายุ 5–8 ปี และ 9–12 ปี และประเมินผลด้วยค่า Accuracy, Recall, Specificity, F1-Score และ Confusion Matrix ผลการทดลองพบว่าโมเดลสามารถจำแนกภาพวาดได้อย่างแม่นยำ โดย Accuracy อยู่ที่ 81.9% และ 89.5% และ F1-Score เท่ากับ 0.83 และ 0.91 สำหรับกลุ่มอายุ 5–8 ปี และ 9–12 ปี ตามลำดับ หลังจากใช้ Data Augmentation ความแม่นยำเพิ่มขึ้นเป็น 87.7% และ 91.1% พร้อมค่า F1-Score ที่เพิ่มเป็น 0.89 และ 0.93 อย่างไรก็ตาม งานวิจัยยังมีข้อจำกัดด้านขนาดและความหลากหลายของข้อมูล ซึ่งควรขยายในอนาคตเพื่อเพิ่มความแม่นยำของโมเดล

คำสำคัญ -- การเรียนรู้เชิงลึก, โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ, ออทิสติก, การวิเคราะห์ภาพวาด, เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง, โครงข่ายเรสเน็ต 50

1. บทนำ

ในการวินิจฉัยภาวะออทิสติกในเด็กนั้นปกติแล้วจะต้องดำเนินการโดยแพทย์ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ซึ่งจะทำการตรวจประเมินรวมทั้งการประเมินผ่านชุดทดสอบต่างๆ ทำให้พ่อแม่หรือผู้ปกครองกังวลว่าบุตรหลานของตนมีแนวโน้มเป็นออทิสติกค่อนข้างช้า ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาวิธีการในการวินิจฉัยและประเมินพฤติกรรมของเด็กที่มีภาวะออทิสติกโดยใช้การวิเคราะห์ภาพวาด ร่วมกับเทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือเพื่อวินิจฉัยได้อย่างง่ายต่อไป ปกติแล้วภาพวาดของเด็กสามารถถูกใช้เป็นเครื่องมือช่วยให้แพทย์ผู้เชี่ยวชาญใช้ประเมินพฤติกรรมและพัฒนาการของเด็กได้อยู่แล้ว รวมทั้งยังสามารถช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการประเมินด้วยแบบทดสอบที่เน้นการอ่าน ส่งผลให้การประเมินเป็นระบบและแม่นยำมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการพัฒนามาตรฐานการวินิจฉัยและการดูแลเด็กที่มีภาวะออทิสติกอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประยุกต์การวิเคราะห์ภาพวาดด้วยเทคนิค Convolutional Neural Networks (CNN) เพื่อประเมินภาวะออทิสติกของเด็กที่มีภาวะออทิสติก

1.2 ขอบเขตการวิจัย

1.2.1 เด็กที่มีกลุ่มอายุ: 5–8 ปี และ 9–12 ปี ทั้งที่มีและไม่มีภาวะออทิสติกซึ่งได้รับการยืนยันแล้วจากแพทย์

1.2.2 หัวข้อภาพวาด: แมวน้ำ, ปลาฉลาม, เต่าทะเล และปลา

1.2.3 เทคนิคที่ใช้: ResNet50 และ Data Augmentation

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้แนวทางการวินิจฉัยภาวะออทิสติกแบบรวดเร็ว

1.3.2 ได้กระบวนการวินิจฉัยภาวะออทิสติกด้วยการวิเคราะห์ภาพวาด

1.4 จริยธรรมการใช้ข้อมูลภาพวาดของเด็ก

งานวิจัยนี้ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลของเด็กในทุกขั้นตอนของการวิจัย ข้อมูลที่นำมาใช้ในการศึกษามีเพียงภาพวาดของเด็ก ระยะเวลาที่ไว้วาด อายุ และสถานะทางออทิสติกของเด็กที่วาดภาพนั้นๆ อย่างไรก็ตามข้อมูลทั้งหมด

ได้รับการดูแลรักษาความลับตามแนวทางของจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

2. แนวคิด

2.1 แนวคิด

งานวิจัยนี้มุ่งใช้การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือ ML โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) หรือ DL เพื่อวิเคราะห์ภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติก หรือ Autism spectrum disorder (ASD) โดยอาศัยความแตกต่างเฉพาะตัวในลักษณะภาพวาดที่สะท้อนพฤติกรรมและความคิดของเด็กกลุ่ม การนำเทคนิค Deep Learning เช่น CNN มาช่วยจำแนกลักษณะภาพวาดจึงช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับ ASD ซึ่งอาจเป็นเครื่องมือเสริมที่มีประโยชน์ทั้งในการวินิจฉัยและพัฒนาการสอนที่เหมาะสม เพื่อส่งเสริมการศึกษาและดูแลเด็กที่มีภาวะออทิสติกอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ภาวะออทิสติก (Autism Spectrum Disorder)

ภาวะออทิสติกเป็นความผิดปกติทางพัฒนาการที่ส่งผลกระทบต่อสื่อสาร การเข้าสังคม และพฤติกรรมซ้ำซาก โดยมีสาเหตุจากทั้งพันธุกรรม เช่น ความผิดปกติของยีน และสิ่งแวดล้อม เช่น สารเคมีหรือภาวะแทรกซ้อนขณะตั้งครรภ์ เด็กออทิสติกเป็นต้น ทำให้เด็กที่มีภาวะออทิสติกมักมีปัญหาด้านการควบคุมอารมณ์ การเข้าสังคม และแสดงพฤติกรรมซ้ำๆ ทั้งนี้ภาวะออทิสติกแบ่งออกได้หลายประเภท เช่น Autistic Disorder, Asperger Syndrome และ Rett Syndrome อีกทั้งยังมีการจำแนกเป็นออทิสติกแท้ซึ่งเกิดจากสมองและพันธุกรรม และออทิสติกเทียมที่เกิดจากปัจจัยภายนอกและสภาพแวดล้อมที่เด็กเติบโตซึ่งอาจรักษาให้ดีขึ้นได้ [1]

2.2.2 ออทิสติกและการวาดภาพ

ภาวะออทิสติกจะส่งผลกระทบต่อสื่อสารและพฤติกรรมของเด็ก ทั้งนี้โดยปกติเด็กมักชอบที่จะวาดหรือระบายสีภาพอยู่แล้ว อย่างไรก็ตามเด็กที่มีภาวะออทิสติกมักวาดภาพที่มีการสื่อสารที่ไม่สามารถควบคุมอารมณ์และการใช้ความคิดที่แตกต่างชัดเจนกว่าเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก โดยภาพจะมีลักษณะเฉพาะ เช่น เส้นและรูปร่างแข็งทื่อหรือซ้ำซาก ลายเส้นและสีไม่เป็นรูปแบบ การใช้สีผิดธรรมชาติ และการจัดวางองค์ประกอบภาพที่ไม่ปกติ [2]

2.2.3 การเรียนรู้เชิงลึก

การเรียนรู้ของเครื่องหรือ ML นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากมาย [3] ซึ่งทำงานโดยอาศัยโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) อย่างไรก็ตามยังต้องมีกระบวนการเตรียมข้อมูลนำเข้าหรือการสร้างคุณลักษณะการเรียนรู้ เช่น feature engineering เป็นต้น [4] ดังนั้นเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก DL เช่น CNN เป็นต้น จึงถูกพัฒนาขึ้นโดยสามารถเรียนรู้จากข้อมูลขนาดใหญ่ และมีโครงสร้างเป็นโครงข่ายประสาทเทียมจำนวนหลายๆ ชั้น เหมาะกับการนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลมัลติมีเดียทั้งหลาย เช่น ภาพ หรือเสียง เป็นต้น เนื่องจากสามารถกลั่นลักษณะเด่นของภาพ เช่น ขอบ รูปทรง รูปแบบ และพื้นผิว เป็นต้น โดยลดขั้นตอนการเตรียมข้อมูลนำเข้า โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ ResNet-50 ซึ่งเป็นโมเดล CNN ที่มีจำนวนชั้นลึกถึง 50 ชั้นและใช้เทคนิค Residual Learning เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Vanishing Gradient ช่วยให้การฝึกโมเดลแม่นยำยิ่งขึ้น รวมทั้งใช้วิธี Transfer Learning จากโมเดลที่ฝึกด้วย ImageNet เพื่อปรับให้เหมาะสมกับข้อมูลภาพวาดของเด็ก นอกจากนี้ยังมีการใช้ Data Augmentation เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูลภาพวาด ด้วยการปรับหมุน ขยาย กลับด้าน หรือปรับสีของภาพ ซึ่งช่วยลด Overfitting และเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลในการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีจำนวนจำกัด

2.2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์ภาพวาดทางจิตวิทยา

การวาดภาพสามารถสะท้อนความคิดและอารมณ์ของเด็กได้ โดยเฉพาะในเด็กที่มีภาวะออทิสติกซึ่งมักแสดงลักษณะการวาดที่แตกต่างจากเด็กทั่วไป โดย Luquet [5] กล่าวถึงพัฒนาการของการวาดภาพเป็นลำดับขั้น และ แบบทดสอบวาดภาพ ที่ใช้ประเมินพัฒนาการทางสติปัญญา ซึ่งเด็กที่มีภาวะออทิสติกอาจแสดงลักษณะผิดปกติ เช่น ภาพไม่สมบูรณ์หรือขาดองค์ประกอบ ดังนั้นการนำภาพวาดมาวิเคราะห์เชิงจิตวิทยา จึงมีศักยภาพและเป็นเครื่องมือที่สำคัญของแพทย์ในการช่วยวินิจฉัยภาวะออทิสติกได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ms. B. Kamala และคณะ [6] ศึกษาโมเดลของการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อคัดกรองผู้ป่วยที่เป็น ASD โดยเปรียบเทียบหลายอัลกอริทึม พบว่า CNN และ Random Forest มีประสิทธิภาพดีที่สุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบสอบถาม AQ-10 เป็น

เครื่องมือหลัก ซึ่งได้ผลสรุปว่า การเรียนรู้ของเครื่องสามารถใช้ช่วยให้วินิจฉัย ASD ได้เร็วและแม่นยำขึ้น

Jingsheng Deng และคณะ [7] ใช้ Ensemble 3D-CNN วิเคราะห์ภาพสแกนสมอง fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging) เพื่อวินิจฉัย ASD จากฐานข้อมูล ABIDE I ซึ่งผลการศึกษพบว่ามีความแม่นยำ 74.53% โดยได้แนะนำให้ใช้เทคนิค Transfer Learning มาพัฒนาวิจัยต่อไปในอนาคต

Md. Fazle Rabbi และคณะ [8] ใช้ CNN วิเคราะห์ภาพใบหน้าเด็กจากแพลตฟอร์ม Kaggle เพื่อคัดกรอง ASD ตั้งแต่ระยะแรก ได้ความแม่นยำสูงสุด 92.31% เหนือกว่าโมเดลอื่น แสดงให้เห็นว่า CNN สามารถใช้เป็นเครื่องมือคัดกรอง ASD ระยะแรกได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้สัมพันธ์ต่อการละเมิดความเป็นส่วนตัวส่วนตัวของเจ้าของข้อมูลอย่างชัดเจน

R. Patankar และคณะ [9] พัฒนา AntiScan ด้วย Neural Networks เพื่อคัดกรองภาวะ ASD ของเด็กในประเทศอินเดีย โดยใช้ข้อมูลพฤติกรรม สังคม และพันธุกรรมหรือ DNA ให้ความแม่นยำสูงสุด 89.7% ช่วยลดภาวะแพทย์และเพิ่มโอกาสดูแลผู้ป่วย ASD

V. Kavitha และ R. Siva [10] พัฒนาโมเดล PSO-CNN เพื่อจำแนก ASD ใน 4 ช่วงวัย โดยใช้ชุดข้อมูล UCI มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ชี้ว่า PSO-CNN ช่วยเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสม ลด Overfitting และเพิ่มความแม่นยำของโมเดล CNN

Jungpil Shin และคณะ [11] ใช้ ML วิเคราะห์ลายมือเด็กออทิสติก เพื่อวินิจฉัย ADHD พบว่าวิธีการ Random Forest ได้ความแม่นยำสูงสุด 93.10% โดยมีข้อจำกัดคือกลุ่มตัวอย่างน้อยและเสนอแนะให้ใช้ Deep Learning ในอนาคต

Maedeh Mosharraf และ Faezeh Banabazi [12] ใช้ ML วิเคราะห์ภาพวาดเด็กอายุ 7-9 ปี เพื่อทำนายบุคลิกภาพ พบว่า Random Forest มีความแม่นยำดีที่สุด 64% โดยมีข้อจำกัดคือมีจำนวนตัวอย่างน้อยและแนะนำให้เพิ่มขนาดข้อมูลและใช้ Deep Learning

Aura-Loredana Popescu และ Nirvana Popescu [13] พัฒนาแอปพลิเคชัน PandaSays ร่วมกับการใช้ MobileNet เพื่อวิเคราะห์อารมณ์ของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและกำลังภาพวาดเพื่อเข้าใจอารมณ์ของเด็กที่ทดสอบ โดยใช้ Data Augmentation และทดสอบร่วมกับหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมทางบวก ผลการทดสอบได้ความแม่นยำ 84.58%

Amna Hendr, Umar Ozgunalp และ Meryem Erbilek Kaya [14] ใช้โมเดล CNN ร่วมกับ Transfer Learning วิเคราะห์ลายมือเด็ก ASD และเด็กปกติ พบว่าโมเดลปรับแต่ง GoogleNet ให้ความแม่นยำสูงสุด 90.48% โดยมีความจำเพาะ 100% แสดงศักยภาพในการใช้วินิจฉัย ASD จากลายมือ

2.4 การประยุกต์ใช้ Machine Learning วิเคราะห์ภาพ

Machine Learning ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพสามารถใช้วิเคราะห์และจำแนกภาพในหลากหลายมิติ เช่น ด้านการแพทย์ การศึกษา และการประมวลผลภาพทั่วไป เป็นต้น โดย CNN มีความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะจากภาพโดยไม่ต้องพึ่งพาการออกแบบฟีเจอร์ล่วงหน้า จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งต่อการวิเคราะห์ภาพของเด็กที่มีภาวะออทิสติก ซึ่งมักมีลักษณะซับซ้อนและแตกต่างกันไปตามพฤติกรรมและพัฒนาการ ทั้งนี้สามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใช้ประกอบการประเมินพฤติกรรมของเด็กได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

โครงข่าย CNN ได้รับการออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับการประมวลผลข้อมูลภาพ โดยประกอบด้วยชั้นสำคัญต่าง ๆ ได้แก่

1. Convolutional Layer สำหรับการสกัดฟีเจอร์จากภาพ
2. Activation Function (เช่น ReLU) สำหรับเพิ่มความไม่เชิงเส้นให้กับโมเดล
3. Pooling Layer สำหรับลดขนาดของข้อมูลเชิงพื้นที่
4. Fully Connected Layer และ Output Layer สำหรับการจัดประเภทภาพ

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้นำโมเดล ResNet-50 ซึ่งเป็นโครงข่ายแบบลึก (deep network) ที่มีการออกแบบให้มี Residual Blocks มาใช้งาน โดย Residual Blocks มีบทบาทสำคัญในการลดปัญหา Gradient Vanishing และ Overfitting โดยเฉพาะเมื่อมีข้อมูลฝึกจำนวนจำกัด ทั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Transfer Learning โดยการโหลดน้ำหนักจากโมเดลที่ผ่านการฝึกบนชุดข้อมูล ImageNet ซึ่งเป็นชุดข้อมูลภาพขนาดใหญ่ แล้วนำมาปรับแต่ง (fine-tuning) ให้เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของข้อมูลภาพของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กทั่วไป ซึ่งช่วยให้โมเดลสามารถดึงคุณลักษณะที่สำคัญจากภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกประเภทภาพ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แนวทางการวิจัย

การวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการ Machine Learning (ML) ในการวิเคราะห์และจำแนกภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กทั่วไป โดยเลือกใช้โมเดล CNN เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพ และสามารถเรียนรู้คุณลักษณะเฉพาะที่ซับซ้อนได้อย่างลึกซึ้ง การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ การเก็บรวบรวมข้อมูล การเตรียมข้อมูล การวิเคราะห์และประมวลผลภาพ การฝึกอบรมโมเดล และการประเมินผลการจำแนกภาพด้วยโมเดล

3.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยเด็กอายุระหว่าง 5–12 ปี ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

3.2.1 กลุ่มเด็กที่ได้รับการวินิจฉัยว่ามีภาวะออทิสติกจำนวน 50 คน โดยแบ่งเป็น

- กลุ่มอายุ 5–8 ปี จำนวน 16 คน

- กลุ่มอายุ 9–12 ปี จำนวน 34 คน

3.2.2 กลุ่มเด็กทั่วไปที่ไม่มีภาวะออทิสติกจำนวน 55 คน โดยแบ่งเป็น

- กลุ่มอายุ 5–8 ปี จำนวน 13 คน

- กลุ่มอายุ 9–12 ปี จำนวน 42 คน

ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างมาจาก โรงเรียนและศูนย์พัฒนาเด็กพิเศษในเขตพื้นที่วิจัย โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกที่ได้รับการยืนยันจากแพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านพัฒนาการเด็ก เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือสำหรับการวิเคราะห์เชิงโมเดล

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือหลักในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.3.1 แบบฟอร์มเก็บข้อมูลภาพวาด ใช้สำหรับให้เด็กวาดรูป บันทึกข้อมูลภาวะออทิสติกและอายุของผู้เข้าร่วมการวิจัย รวมถึงการจัดเก็บและระบุรายละเอียดของภาพวาดแต่ละภาพอย่างเป็นระบบ

3.3.2 การเตรียมข้อมูลภาพก่อนนำเข้าสู่กระบวนการฝึกโมเดล โดยมีการปรับขนาดภาพให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของโมเดล การทำ Normalization เพื่อปรับค่าพิกเซลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม รวมทั้งใช้เทคนิค Data Augmentation เพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล เช่น การหมุนภาพ การกลับ

ด้าน และการปรับแต่ง เพื่อช่วยลด Overfitting และเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดล

3.3.3 โมเดล CNN ในการวิจัยนี้เลือกใช้ ResNet-50 ซึ่งเป็นโมเดลแบบ Deep Neural Network ที่ผ่านการฝึกบนชุดข้อมูล ImageNet และใช้วิธี Transfer Learning โดยใช้เป็นตัวดึงคุณลักษณะ (Feature Extractor) มีการเพิ่มชั้น GlobalAverage Pooling2D Dense และ Dropout เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการจำแนกภาพ พัฒนาโดยภาษา Python พร้อมไลบรารี TensorFlow และ Keras

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ภาพวาดจากเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กปกติ มีรวมทั้งหมด 420 ภาพ โดยได้รับความยินยอมจากผู้ปกครองและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างถูกต้อง ข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บรักษาเป็นความลับเพื่อรักษาสิทธิส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วม กิจกรรมวาดภาพจัดขึ้นในห้องเรียนภายใต้การควบคุมของคุณครู ซึ่งดูแลให้บรรยากาศผ่อนคลายและเป็นมิตร เด็กแต่ละคนได้รับอุปกรณ์เหมือนกัน ประกอบด้วย

3.4.1 กระดาษวาดภาพขนาด A4 2 แผ่น โดยกำหนดให้ช่องสำหรับวาดภาพขนาด 6.45 x 7.14 CM จำนวน 4 ช่อง และมีตัวอย่างภาพ แมวน้ำ, ปลาฉลาม, เต่าทะเล และปลา ในกระดาษ

3.4.2 ดินสอสี 2B

3.4.3 ชุดสีไม้ 24 สี

3.4.4 ยางลบ

คำชี้แจงที่เด็กได้รับคือ ให้วาดภาพตามแบบตัวอย่างลงในช่องสี่เหลี่ยมที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เด็กแต่ละคนมีเวลา 3 ชั่วโมง ในการวาดทั้งหมด 4 ภาพ โดยสามารถสอบถามคุณครูได้ในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์หรือการใช้งาน

ภาพวาดทั้งหมดจะถูกสแกนเป็นไฟล์ดิจิทัล เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ต่อไป

3.5 การเตรียมข้อมูล

3.5.1 Data Augmentation ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มชุดข้อมูลภาพสำหรับการฝึกและทดสอบ โดยใช้เทคนิค ดังนี้

- การหมุนภาพ (Rotation)

ทำการหมุนภาพต้นฉบับไปทางซ้ายหรือขวาในมุมต่าง ๆ ได้แก่ หมุนซ้าย 45 องศา, หมุนซ้าย 90 องศา, หมุนขวา 45 องศา และหมุนขวา 90 องศา เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ภาพในมุมมองที่หลากหลาย

- การพลิกภาพ (Flip/Mirroring)

พลิกภาพในแนวนอนและแนวตั้ง 180 องศาในแต่ละแนว เพื่อเพิ่มความหลากหลายของทิศทางของวัตถุในภาพ

- การครอบภาพ (Cropping)

ตัดส่วนของภาพบางส่วนออก ที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลักของภาพ เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้จากภาพที่มีขนาดหรือบริบทที่แตกต่างกัน

เทคนิคเหล่านี้ช่วยเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูลโดยไม่ต้องจัดเก็บข้อมูลเพิ่มเติม และยังคงผลดีต่อการเรียนรู้ของโมเดลในสภาพแวดล้อมจริงที่มีความหลากหลายของข้อมูลภาพ

3.5.2 การแบ่งชุดข้อมูลและเทคนิคการตรวจสอบโมเดล

จะใช้ ImageDataGenerator จาก TensorFlow แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยกำหนดพารามิเตอร์ validation_split เท่ากับ 0.4 เพื่อแยกข้อมูลออกเป็น:

- ชุดข้อมูลสำหรับฝึกโมเดล (Training set) 60 %

- ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบโมเดล (Validation set) 40 %

ภายหลังการแบ่งชุดข้อมูลเบื้องต้น จะใช้เทคนิค K-Fold Cross-Validation จำนวน 5-Fold เพื่อสร้างชุดข้อมูลย่อยในกระบวนการฝึกและประเมินโมเดล เพื่อให้การประเมินผลมีความครอบคลุมและเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้น โดยในแต่ละรอบของการ Cross-Validation จะมีการสลับชุดข้อมูลสำหรับฝึกและตรวจสอบใหม่ ช่วยลดอคติ (bias) ที่อาจเกิดจากการแบ่งข้อมูลเพียงครั้งเดียว และเพิ่มความมั่นใจในประสิทธิภาพและความเสถียรของโมเดลที่พัฒนา

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การปรับแต่งพารามิเตอร์ (Parameter Tuning) ของโมเดล CNN ที่ใช้ในการวิจัยถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของโมเดล ทั้งในด้านความแม่นยำ ความสามารถในการเรียนรู้ของโมเดล และการลดความเสี่ยงของปัญหา Overfitting ที่อาจเกิดขึ้น

การทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จะสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการจำแนกภาพ โดยมีข้อกำหนดของพารามิเตอร์ที่ใช้ ดังนี้:

3.6.1 Learning Rate : ทดสอบค่าที่ 0.01, 0.001 และ 0.0001 เพื่อหาค่าที่ให้ความแม่นยำสูงสุด

3.6.2 Batch Size : ทดลองใช้ขนาด 16, 32 และ 64 เพื่อประเมินผลต่อความเร็วและประสิทธิภาพ

3.6.3 Number of Epochs : กำหนดไว้ที่ 20 รอบการฝึก

3.6.4 Optimizer : ใช้อัลกอริทึม Adam เนื่องจากมีความเสถียรและประสิทธิภาพในการเรียนรู้สูง

3.7 การประเมินผล

โดยปกติการเรียนรู้ของเครื่องจะถูกประเมินด้วยตัวชี้วัดที่สำคัญ ดังนี้

3.7.1 ค่าความถูกต้อง (Accuracy)

คืออัตราส่วนของจำนวนการจำแนกที่ถูกต้องทั้งหมด ทั้งกรณีเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กปกติต่อจำนวนตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (1) ดังนี้

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (1)$$

โดยที่ TP (True Positive) คือจำนวนตัวอย่างที่จำแนกว่าเป็นออทิสติก และเป็นออทิสติกจริง

TN (True Negative) คือจำนวนตัวอย่างที่จำแนกว่าไม่เป็นออทิสติก และไม่เป็นออทิสติกจริง

FP (False Positive) คือจำนวนตัวอย่างที่จำแนกว่าเป็นออทิสติก แต่จริง ๆ ไม่เป็น

FN (False Negative) คือจำนวนตัวอย่างที่จำแนกว่าไม่เป็นออทิสติก แต่จริง ๆ เป็น

3.7.2 ความไว (Sensitivity หรือ Recall)

คือความสามารถของโมเดลในการตรวจจับเด็กออทิสติกได้ดีหรือไม่ โดยมีข้อกำหนด ดังนี้

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

3.7.3 ความจำเพาะ (Specificity)

คือความเชื่อมั่นของโมเดลที่จะไม่ระบุเด็กปกติผิดเป็นเด็กที่มีภาวะออทิสติก โดยมีข้อกำหนดดังสมการที่ (3) ดังนี้

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (3)$$

3.7.3 ความแม่นยำ (Precision)

คือความเชื่อมั่นในการจำแนกเด็กที่มีภาวะออทิสติกว่าเป็นออทิสติกจริงได้อย่างถูกต้อง โดยคำนวณจากอัตราส่วนของจำนวนเด็กที่มีภาวะออทิสติกและโมเดลทำนายว่าเป็นออทิสติกจริง จากจำนวนที่โมเดลทำนายว่าเป็นออทิสติกทั้งหมด ดังนี้

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

3.7.5 F1-Score

เป็นค่าเฉลี่ยแบบฮาร์โมนิก (Harmonic Mean) ระหว่าง Precision และ Recall เพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดลในกรณีที่มีความไม่สมดุลของข้อมูล มีข้อกำหนดดังสมการที่ (5) ดังนี้

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (5)$$

3.7.6 Confusion Matrix

Confusion Matrix เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยรวมและข้อผิดพลาดในการทำนายของโมเดล

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ผลการทดลอง กลุ่มอายุ 5–8 ปี (ก่อนทำ Data Augmentation)

ผลการฝึกและประเมินโมเดล ResNet50 ด้วย 5-Fold Cross Validation ในกลุ่มนี้มีรายละเอียดดังนี้

- ค่า Accuracy เฉลี่ยอยู่ที่ 81.9%
- โมเดลสามารถจำแนกภาพ ASD และ Non-ASD ได้ดี
- โมเดลมีการทำนายผิดในกลุ่ม ASD และ Non-ASD

เนื่องจากภาพข้อมูลในกลุ่มนี้มีความคลุมเครือพอสมควร

4.1.2 ผลการทดลอง กลุ่มอายุ 9–12 ปี (ก่อนทำ Data Augmentation)

ผลการทดลองในกลุ่มนี้มีความแตกต่างจากกลุ่มแรกเล็กน้อย โดยความถูกต้องเฉลี่ยจะสูงกว่ากลุ่มอายุ 5–8 ปี ดังนี้

- ค่า Accuracy เฉลี่ยอยู่ที่ 89.5%
- ประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากข้อมูลในกลุ่มนี้มีความชัดเจนหรือมีความแตกต่างของภาพระหว่าง 2 กลุ่มชัดเจนขึ้น
- โมเดลมีอัตราการทำนายผิดในกลุ่ม ASD และ Non-ASD เล็กน้อย

4.1.3 ผลการทดลอง กลุ่มอายุ 5–8 ปี (หลังทำ Data Augmentation)

หลังจากเพิ่มชุดข้อมูลด้วยเทคนิค Data Augmentation เพื่อเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูลในกลุ่ม 5–8 ปี พบว่าประสิทธิภาพโมเดลดีขึ้น ดังนี้

- ค่า Accuracy เฉลี่ยหลัง Augmentation เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 87.7%

- โมเดลมีความสามารถ generalize ดีขึ้น เนื่องจากมีชุดข้อมูลที่หลากหลายมากขึ้น

- ค่าการจำแนกผิดในชุด validation ลดลงอย่างชัดเจน

4.1.4 ผลการทดลอง กลุ่มอายุ 9–12 ปี (หลังทำ Data Augmentation)

หลังจากเพิ่มข้อมูลด้วยเทคนิค Data Augmentation เพื่อเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูลในกลุ่มอายุ 9–12 ปี พบว่าโมเดลมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังนี้

- ค่า Accuracy เฉลี่ยหลัง Augmentation เพิ่มขึ้นเป็น 91.1% แสดงถึงความแม่นยำที่สูงในการจำแนกภาพวาดของเด็กออทิสติกและเด็กทั่วไป

- ค่า Precision และ Recall อยู่ที่ประมาณ 0.91–0.92 ซึ่งบ่งชี้ว่าโมเดลสามารถทำนายได้ทั้งแม่นยำและครอบคลุม

- ค่า F1-score อยู่ในระดับสูงทุก Fold โดยเฉพาะใน Fold ที่ 3 ซึ่งได้ค่าสูงสุดที่ 0.92

4.2 การประเมินผลโมเดล

ผลการประเมินโมเดล ResNet50 แสดงให้เห็นว่าการทำ Data Augmentation ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกภาพวาดของเด็กในหลายด้าน โดย Accuracy สูงขึ้นทั้งในกลุ่มอายุ 5–8 ปี (จาก 81.9% เป็น 87.7%) และ 9–12 ปี (จาก 89.5% เป็น 91.1%) สะท้อนว่าโมเดลสามารถทำนายได้แม่นยำมากขึ้น โดยรวม F1-Score ซึ่งแสดงถึงสมดุลระหว่าง Precision และ Recall ก็เพิ่มขึ้นในกลุ่ม 5–8 ปี (จาก 79.2% เป็น 89.0%) และยังคงสูงในกลุ่ม 9–12 ปี แสดงว่าโมเดลสามารถจำแนกทั้งสองคลาสได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้ในกรณีข้อมูลไม่สมดุล ในด้าน Sensitivity (Recall) ซึ่งวัดความสามารถในการตรวจจับเด็กที่มีภาวะออทิสติก พบว่าดีขึ้นอย่างชัดเจนในกลุ่ม 5–8 ปี (จาก 76.9% เป็น 90.4%) แสดงถึงการพัฒนาความแม่นยำของโมเดลในกลุ่มนี้ โดยเฉพาะสำหรับ Specificity ที่สะท้อนการ

จำแนกเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก พบว่ากลุ่ม 9–12 ปีมีค่าพุ่งสูง (จาก 89.0% เป็น 95.0%) หลัง Augmentation แสดงว่าโมเดลแยกแยะเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกได้แม่นยำมากขึ้น สุดท้าย Precision หรือความแม่นยำเชิงบวก ก็ดีขึ้นในทุกกลุ่ม โดยเฉพาะกลุ่ม 9–12 ปีที่มีค่าเพิ่มจาก 91.0% เป็น 93.4% แสดงถึงความมั่นใจของโมเดลในการทำนายเด็กออทิสติกได้อย่างถูกต้อง โดยสรุป การทำ Data Augmentation ส่งผลดีต่อทุกตัวชี้วัดหลัก ทำให้โมเดลมีความแม่นยำและเสถียรมากขึ้นเหมาะสำหรับการใช้งานในบริบทการวิเคราะห์ภาพวาดเพื่อคัดกรองเด็กที่มีภาวะออทิสติก

ในกรณีของการทำนายภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติก และเด็กที่ไม่มีภาวะ ผลการทำนายของโมเดล ResNet50 จากการทำ Cross-Validation ทั้ง 5 Fold ถูกสรุปรวมออกมาในรูปแบบของ Overall Confusion Matrix ดังแสดงในตารางด้านล่าง

4.2.1. ผลการจำแนกภาพวาด (ก่อนทำ Data Augmentation)

จากข้อมูลในตารางที่ 1 โมเดลสามารถจำแนกเด็กที่มีภาวะออทิสติกในกลุ่มอายุ 5–8 ปี ได้ถูกต้อง 40 ครั้ง (TP) และกลุ่ม 9–12 ปี ได้ 151 ครั้ง ขณะที่เกิดการทำนายผิดว่าเป็นเด็กทั่วไป (FN) จำนวน 12 และ 17 ครั้งตามลำดับ สำหรับการจำแนกเด็กทั่วไปได้ถูกต้อง (TN) พบ 55 และ 121 ครั้ง และการทำนายผิดว่าเป็นเด็กออทิสติก (FP) พบ 9 และ 15 ครั้ง ส่งผลให้โมเดลมี Accuracy เท่ากับ 81.9% ในกลุ่มอายุ 5–8 ปี และ 89.5% ในกลุ่มอายุ 9–12 ปี ปัจจัยที่อาจมีผลต่อความแม่นยำที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มอายุ อาจมาจากลักษณะเฉพาะของภาพวาดที่ชัดเจนและแตกต่างกันมากขึ้นตามพัฒนาการของเด็ก ทำให้โมเดลสามารถเรียนรู้รูปแบบของกลุ่มอายุที่มากกว่าได้ดีกว่า นอกจากนี้ ความหลากหลายและความซับซ้อนของลายเส้นในเด็กโตอาจส่งผลให้ข้อมูลมีความจำแนกได้มากขึ้น ส่งเสริมให้โมเดลมีประสิทธิภาพในการทำนายที่สูงขึ้นในกลุ่มอายุ 9–12 ปี

ตารางที่ 1. ผลการจำแนกภาพเด็กออทิสติกและไม่เป็นออทิสติกตามช่วงอายุ

กลุ่มอายุ	TP	FN	FP	TN	Accuracy
5–8 ปี	40	12	9	55	81.9%
9–12 ปี	151	17	15	121	89.5%

4.2.2. ผลการจำแนกภาพวาด (หลังทำ Data Augmentation)

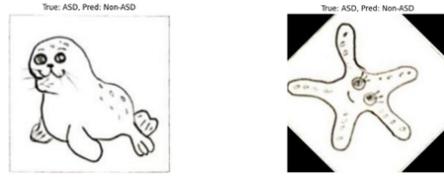
จากตารางที่ 2 พบว่าโมเดลสามารถจำแนกภาพของเด็กที่มีภาวะออทิสติกได้ดี อย่างไรก็ตามยังมีข้อผิดพลาดบางส่วนที่อาจเกิดจากความคล้ายคลึงกันของลักษณะภาพวาดระหว่างเด็กสองกลุ่ม จากข้อมูลในตาราง หลังการดำเนินการเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation) พบว่าโมเดลสามารถจำแนกเด็กที่มีภาวะออทิสติกในกลุ่มอายุ 5-8 ปี ได้ถูกต้อง (TP) จำนวน 312 ครั้ง และในกลุ่มอายุ 9-12 ปี จำนวน 638 ครั้ง ขณะที่มีการทำนายผิดว่าเป็นเด็กทั่วไป (FN) จำนวน 33 และ 96 ครั้งตามลำดับ สำหรับการจำแนกเด็กทั่วไปได้ถูกต้อง (TN) อยู่ที่ 237 และ 862 ครั้ง และการทำนายผิดว่าเป็นเด็กออทิสติก (FP) อยู่ที่ 44 และ 45 ครั้ง ส่งผลให้ค่า Accuracy ในกลุ่มอายุ 5-8 ปี และ 9-12 ปี อยู่ที่ 87.7% และ 91.1% ตามลำดับ ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนว่าโมเดลสามารถรักษาประสิทธิภาพในการจำแนกได้ดีแม้หลังจากการเพิ่มข้อมูล โดยเฉพาะในกลุ่มอายุ 9-12 ปี ซึ่งมีแนวโน้มการทำนายที่แม่นยำกว่ากลุ่มอายุที่น้อยกว่าเล็กน้อย ปัจจัยที่อาจส่งผลให้โมเดลมีความสามารถในการจำแนกกลุ่มอายุ 9-12 ปี ได้ดีกว่า ได้แก่ ลักษณะเฉพาะของลายเส้นและรายละเอียดในภาพวาดของเด็กโตที่มีความซับซ้อนและชัดเจนมากขึ้น ส่งผลให้โมเดลสามารถเรียนรู้และแยกแยะรูปแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ยังพบข้อผิดพลาดบางกรณีซึ่งอาจเกิดจากความคล้ายคลึงกันของลักษณะภาพวาดระหว่างเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กทั่วไป โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กเล็กที่รูปแบบภาพวาดอาจยังไม่แสดงลักษณะเฉพาะที่ชัดเจนเพียงพอสำหรับการจำแนกของโมเดล

ตารางที่ 2. ผลการจำแนกภาพเด็กออทิสติกและไม่มีเป็นออทิสติกตามช่วงอายุ

กลุ่มอายุ	TP	FN	FP	TN	Accuracy
5-8 ปี	312	33	44	237	87.7%
9-12 ปี	638	96	45	862	91.1%

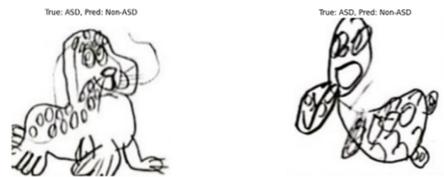
4.2.3 ตัวอย่างภาพวาดในการจำแนกกลุ่มเด็กที่มีภาวะออทิสติกและไม่มีภาวะ

โดยในแต่ละภาพจะมีคำอธิบายว่า True: หมายถึงค่าความจริงจากข้อมูล (Label จริงว่าเป็น ASD) ส่วน Pred: หมายถึงค่าที่โมเดลทำนายออกมา



รูปที่ 1. ตัวอย่างรูปภาพที่เกิด False Negative ซึ่งวาดและระบายสีโดยเด็กที่มีภาวะออทิสติกช่วงอายุ 5-8 ปี

จากการวิเคราะห์การทำงานของโมเดลที่ผิดพลาดกรณี False Negative นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นว่ารูปมีลักษณะของเมฆน้ำและปลาตัวชัดเจนมีองค์ประกอบครบถ้วน ส่งผลให้โมเดลจำแนกผิดว่าเป็นภาพของเด็กที่ไม่มีภาวะ (Non-ASD) ทั้งที่เป็นภาพจากเด็กออทิสติก แสดงถึงข้อจำกัดของโมเดลในการแยกแยะลักษณะเฉพาะบางอย่างในงานวาดของเด็กช่วงอายุ 5-8 ปี



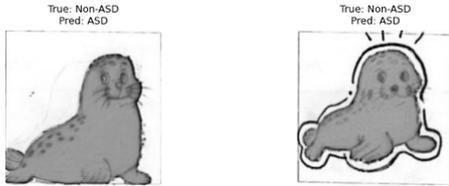
รูปที่ 2. แสดงตัวอย่างรูปภาพที่เกิด False Negative ซึ่งวาดและระบายสีโดยเด็กที่มีภาวะออทิสติกช่วงอายุ 9-12 ปี

จากการวิเคราะห์การทำงานของโมเดลที่ผิดพลาดกรณี False Negative นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่ารูปเมฆน้ำยังมีเค้าโครงลักษณะชัดเจนและมีองค์ประกอบครบถ้วน ส่งผลให้โมเดลจำแนกผิดว่าเป็นภาพของเด็กที่ไม่มีภาวะ (Non-ASD) ทั้งที่เป็นภาพจากเด็กออทิสติก แสดงถึงข้อจำกัดของโมเดลในการแยกแยะลักษณะเฉพาะบางอย่างในงานวาดของเด็กช่วงอายุ 9-12 ปี



รูปที่ 3. ตัวอย่างรูปภาพที่เกิด False Positive ซึ่งวาดและระบายสีโดยเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกช่วงอายุ 5-8 ปี

จากการวิเคราะห์การทำงานของโมเดลที่ผิดพลาดกรณี False Positive นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 3 จะเห็นว่ารูปแมวที่มีลักษณะการวาดที่ไม่เป็นระเบียบหรือมีรูปแบบเฉพาะ ทำให้โมเดลจำแนกผิดว่าเป็นภาพของเด็กที่มีภาวะออทิสติก (ASD) แสดงถึงข้อจำกัดข้อจำกัดของโมเดล ในการแยกแยะลักษณะเฉพาะบางอย่างในงานวาดของเด็กช่วงอายุ 5-8 ปี



รูปที่ 4. ตัวอย่างรูปภาพที่เกิด False Positive ซึ่งวาดและระบายสีโดยเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกช่วงอายุ 9-12 ปี

จากการวิเคราะห์การทำงานของโมเดลที่ผิดพลาดกรณี False Positive นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4 จะเห็นว่ารูปแมวที่มีลักษณะการวาดที่ไม่เป็นระเบียบหรือมีรูปแบบเฉพาะที่เติมแต่งเพิ่มเข้าไปในภาพ ทำให้โมเดลจำแนกผิดว่าเป็นภาพของเด็กที่มีภาวะออทิสติก (ASD) แสดงถึงข้อจำกัดข้อจำกัดของโมเดลในการแยกแยะลักษณะเฉพาะบางอย่างในงานวาดของเด็กช่วงอายุ 9-12 ปี

จากการตรวจสอบผลการทำนายของโมเดล ResNet50 ในแต่ละ Fold พบว่ามีบางภาพที่โมเดลไม่สามารถทำนายผลได้อย่างถูกต้อง กล่าวคือ ภาพที่มีว่าเป็นเด็กที่มีภาวะออทิสติก (True: ASD) กลับถูกทำนายว่าเป็น Non-ASD (Pred: NonASD) และในทางกลับกัน ภาพที่เป็นของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก (True: NonASD) กลับถูกทำนายว่าเป็น ASD (Pred: ASD) ซึ่งถือเป็นข้อผิดพลาดในการจำแนกประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โมเดลทำนายผิด แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของโมเดล ในการประมวลผลลักษณะเฉพาะของภาพวาด สาเหตุหนึ่งที่เป็นไปได้คือ ลักษณะของภาพวาดที่คล้ายคลึงกับภาพของเด็กอีกกลุ่ม เช่น ในกรณีของภาพเด็กที่มีภาวะออทิสติกที่วาดภาพได้เป็นระเบียบและใกล้เคียงกับเด็กที่ไม่มีภาวะ หรือในทางกลับกัน ภาพของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกที่มีลักษณะขีดเขียนซ้ำ ๆ หรือมีโครงสร้างที่ไม่ชัดเจนอาจทำให้โมเดลเกิดความสับสน ตัวอย่างเช่น จากการวิเคราะห์กรณี False Negative สามารถสังเกตได้จาก รูปที่ 1 และรูปที่ 2 ซึ่งเป็นภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกที่มีการจัดองค์ประกอบอย่างมีแบบแผนคล้ายกับเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก ส่งผลให้โมเดล

เข้าใจผิดและทำนายว่าเป็น Non-ASD ในทำนองเดียวกัน กรณี False Positive พบในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ซึ่งเป็นภาพของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกที่มีการขีดเขียนไม่เป็นระเบียบ ไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างชัดเจน ส่งผลให้โมเดลเข้าใจว่าเป็นลักษณะของเด็กที่มีภาวะออทิสติก ทั้งนี้ ความไม่เด่นชัดของภาพ เช่น ลายเส้นน้อย หรือพื้นที่ว่างมากเกินไป ก็เป็นอีกปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความแม่นยำของโมเดลนอกจากนี้ ความหลากหลายของลักษณะในกลุ่มเด็กที่มีภาวะออทิสติกเอง ซึ่งอาจมีพฤติกรรมวาดภาพแตกต่างกันมาก ทำให้การใช้เพียงภาพวาดในการวินิจฉัยอาจยังไม่ครอบคลุมเพียงพอ จำเป็นต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ ทั้งในเชิงพฤติกรรม การสื่อสาร และบริบททางพัฒนาการของเด็ก

4.3 การวิเคราะห์การทำงานของโมเดล

จากผลการทดสอบ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำของโมเดล ได้แก่

4.3.1 การเลือกพารามิเตอร์ของโมเดล – ค่า Learning Rate ที่เหมาะสมช่วยให้โมเดลเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3.2 การจำแนกภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะ ในแต่ละ fold การใช้ k-fold cross-validation ช่วยให้เห็นประสิทธิภาพของโมเดลได้อย่างยุติธรรม โดยไม่เกิดการ overfitting และสามารถทำให้โมเดลมีการเรียนรู้ที่ดีจากข้อมูลทุกชุด

4.3.3 การทำ Data Augmentation ช่วยสร้างชุดข้อมูลที่มีความหลากหลายและลดปัญหา Overfitting ที่เกิดกับโมเดลได้

4.3.4 ความแตกต่างของลักษณะภาพวาด ภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้โมเดลสามารถเรียนรู้ได้ดีในบางกรณี แต่ยังมีข้อผิดพลาดบางส่วนที่ต้องปรับปรุง

4.3.5 โมเดลมีความแม่นยำและ F1-score สูงทั้งสองคลาส สะท้อนว่าโมเดลสามารถแยกแยะภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะได้ดี

4.3.6 ค่าความสมดุลระหว่าง Precision และ Recall แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถทำนายได้อย่างเหมาะสมทั้งสองคลาส

4.4 การวิเคราะห์ข้อผิดพลาด

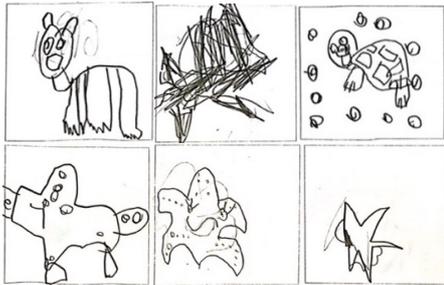
ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการทำนายสามารถเกิดได้จากหลายปัจจัย จากการวิเคราะห์การทำงานของโมเดลที่ผิดพลาดในกรณี False Negative นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 1 และรูปที่ 3 โดยเฉพาะความคล้ายคลึงของภาพวาดระหว่างเด็กที่มีภาวะ

ออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก ซึ่งในบางกรณี โมเดล อาจทำนายผิดเพราะภาพวาดบางภาพมีลักษณะคล้ายกันเกินไป เช่น การวาดเส้นที่ไม่ชัดเจน หรือการขาดรายละเอียดที่สำคัญ อีกทั้งยังมีปัจจัยจากภาพที่มีลักษณะผิดปกติ เช่น การบิดเบี้ยว หรือเบลอลงของภาพที่ทำให้โมเดลไม่สามารถจับลักษณะเฉพาะได้อย่างถูกต้อง

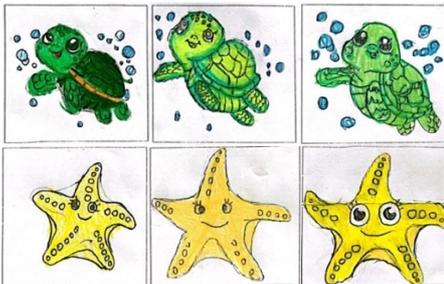
4.5 การวิเคราะห์ลักษณะจากภาพและการประมวลผล

4.5.1 การเลือกใช้สี

การวิเคราะห์การเลือกใช้สีจากรูปที่ 5 ภาพวาดแต่ละทะเลและปลาควา แสดงลักษณะการขีดเขียนซ้ำซ้อนด้วยเส้นสีดำจำนวนมาก บ่งบอกถึงการใช้สีอย่างจำกัดและการควบคุมกล้ามเนื้อเล็กที่ยังไม่พัฒนาเต็มที่ ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ในเด็กที่มีภาวะออทิสติกที่มักแสดงพฤติกรรมซ้ำ ๆ และอาจมีข้อจำกัดในการแสดงออกทางอารมณ์ผ่านงานศิลปะ



รูปที่ 5. ตัวอย่างรูปภาพของเด็กที่มีภาวะออทิสติก



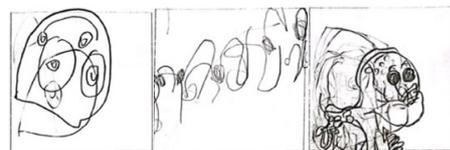
รูปที่ 6. ตัวอย่างรูปภาพของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก

การวิเคราะห์การเลือกใช้สีจากรูปที่ 6 ภาพวาดแต่ละทะเลและปลาควา แสดงถึงการเลือกใช้สีอย่างเหมาะสมและมีความสมดุล โดยใช้โทนสีเขียว น้ำฟ้า และสีเหลืองที่สื่อถึงธรรมชาติอย่างชัดเจน บ่งบอกถึงพัฒนาการทางอารมณ์และการรับรู้ที่เป็นระบบ รวมทั้งการควบคุมกล้ามเนื้อเล็กได้ดี ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก

จากการเปรียบเทียบภาพวาด พบว่ามีลักษณะเด่นที่สะท้อนพฤติกรรมและพัฒนาการที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยรูปที่ 5 เป็นภาพที่ไม่มีภาวะออทิสติก ประกอบด้วยเส้นขีดเขียนซ้ำ ๆ ก่อนข้าง ไร้รูปแบบ สอดคล้องกับบุคลิกของเด็ก ASD ที่มักแสดงพฤติกรรมซ้ำ ๆ และอาจมีข้อจำกัดในการแสดงออกทางอารมณ์ผ่านงานศิลปะ การไม่เลือกใช้สี หรือการใช้สีอย่างจำกัด อาจสะท้อนถึงความยากลำบากในการรับรู้หรือแสดงออกทางอารมณ์ รวมถึงปัญหาในการควบคุมทักษะการเคลื่อนไหวละเอียดและการวางแผนการเคลื่อนไหวในทางตรงกันข้ามรูปที่ 6 ภาพวาดของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกแสดงถึงลักษณะที่สามารถแสดงออกทางอารมณ์และความคิดสร้างสรรค์ได้อย่างชัดเจน ใช้สีหลากหลาย ครอบคลุมทุกส่วนของภาพ ทั้งยังสามารถถ่ายทอดลักษณะของตัวการ์ตูนได้อย่างสมจริง มีการเลือกใช้สีที่เหมาะสมกับองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น เปลือกเต่าสีเขียวเข้ม ตาโตแสดงความรู้สึกลึก และฟองอากาศรอบตัวที่ช่วยเสริมให้ภาพดูมีชีวิตชีวา การวาดภาพลักษณะนี้บ่งบอกถึงพัฒนาการด้านการรับรู้ การประมวลผลข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมและความสามารถในการเชื่อมโยงจินตนาการกับทักษะการเคลื่อนไหว

4.5.2 รูปทรง

การวิเคราะห์รูปทรงจากรูปที่ 7 ภาพวาดแมวน้ำแสดงถึงลักษณะการขีดเขียนที่ไม่เป็นระเบียบ ไร้ทิศทาง และขาดรูปทรงที่ชัดเจน สะท้อนถึงการรับรู้ภาพและการวางแผนการเคลื่อนไหวที่ยังไม่พัฒนาเต็มที่ เด็กออทิสติกมักหลีกเลี่ยงรายละเอียดหรือความซับซ้อนในงานวาด และแสดงออกผ่านการใช้เส้นที่ซ้ำซ้อนหรือกระจาย



รูปที่ 7. ตัวอย่างรูปภาพของเด็กที่มีออทิสติก



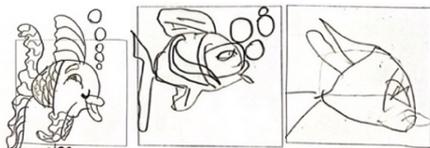
รูปที่ 8. ตัวอย่างรูปภาพของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก

การวิเคราะห์รูปทรงจากรูปที่ 8 ภาพวาดแมวน้ำแสดงถึงลักษณะการรับรู้รูปทรงที่เรียบง่ายแต่มีโครงสร้างชัดเจน เช่น การวาดตัวแมวน้ำที่มีลักษณะครบถ้วน มีดวงตา ใบหน้า ลำตัว และอวัยวะที่สัมพันธ์กันอย่างสมดุล สะท้อนถึงกระบวนการรับรู้ที่แม่นยำ การวางแผนล่วงหน้า

หากเปรียบเทียบกันแล้วพบว่าภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการขีดเขียนที่ไม่เป็นระเบียบ ไร้ทิศทาง และขาดรูปทรงที่ชัดเจน สะท้อนถึงการรับรู้ภาพและการวางแผนเคลื่อนไหวที่ยังไม่พัฒนาเต็มที่ เด็กออทิสติกมักหลีกเลี่ยงรายละเอียดหรือความซับซ้อนในงานวาด และแสดงออกผ่านการใช้เส้นที่ซ้ำซ้อนหรือกระจายโดยไม่มีจุดมุ่งหมายที่แน่นอน ในขณะที่รูปที่ 8 ภาพวาดของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก แสดงให้เห็นถึงการรับรู้รูปทรงที่เรียบง่ายแต่มีโครงสร้างชัดเจน เช่น การวาดตัวแมวน้ำที่มีลักษณะครบถ้วน มีดวงตา ใบหน้า ลำตัว และอวัยวะที่สัมพันธ์กันอย่างสมดุล สะท้อนถึงกระบวนการรับรู้ที่แม่นยำ การวางแผนล่วงหน้า ความแตกต่างนี้ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนไหว ความเข้าใจในโครงสร้างวัตถุ และระดับพัฒนาการด้านการสื่อสารผ่านภาพที่แตกต่างกันระหว่างเด็กออทิสติกกับเด็กทั่วไป

4.5.3 การจัดเรียงองค์ประกอบ

การวิเคราะห์การจัดเรียงองค์ประกอบจากรูปที่ 9 ภาพวาดปลาแสดงถึงลักษณะการจัดวางองค์ประกอบที่มีลักษณะที่ไม่สมดุล เส้นขีดเขียนกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ไม่มีจุดโฟกัสหลัก และไม่มีการแบ่งพื้นที่ภาพอย่างชัดเจน ลักษณะเช่นนี้สะท้อนถึงความยากลำบากในการวางแผน การควบคุมกล้ามเนื้อมือ และการรับรู้ด้านมิติและพื้นที่



รูปที่ 9. ตัวอย่างรูปภาพของเด็กที่มีภาวะออทิสติก



รูปที่ 10. ตัวอย่างรูปภาพของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก

การวิเคราะห์การจัดเรียงองค์ประกอบจากรูปที่ 10 ภาพวาดปลาแสดงถึงลักษณะการจัดองค์ประกอบที่ชัดเจนและสมดุล ปลาถูกวางไว้บริเวณกึ่งกลางภาพ มีการเว้นระยะรอบข้างอย่างเหมาะสม และมีองค์ประกอบเสริม เช่น ฟองอากาศ ที่กระจายตัวอย่างสมดุลและเป็นธรรมชาติ การวางตำแหน่งองค์ประกอบอย่างมีแบบแผนนี้สะท้อนถึงความสามารถในการคิดวางแผนล่วงหน้าการมองเห็นภาพรวมของงาน

จากการเปรียบเทียบภาพวาดพบความแตกต่างที่ชัดเจนในเรื่องของการจัดวางองค์ประกอบภายในภาพ โดยในรูปที่ 9 ภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติก พบว่าการจัดวางองค์ประกอบมีลักษณะที่ไม่สมดุล เส้นขีดเขียนกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ไม่มีจุดโฟกัสหลัก และไม่มีการแบ่งพื้นที่ภาพอย่างชัดเจน ลักษณะเช่นนี้สะท้อนถึงความยากลำบากในการวางแผน การควบคุมกล้ามเนื้อมือ และการรับรู้ด้านมิติและพื้นที่ ซึ่งเป็นลักษณะพฤติกรรมที่พบได้ในเด็กกลุ่มออทิสติก โดยเฉพาะในด้านของการจัดการพื้นที่ ในขณะที่รูปที่ 10 ภาพวาดของเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกแสดงให้เห็นถึงการจัดองค์ประกอบที่ชัดเจนและสมดุล ตัวปลาถูกวางไว้บริเวณกึ่งกลางภาพ มีการเว้นระยะรอบข้างอย่างเหมาะสม และมีองค์ประกอบเสริม เช่น ฟองอากาศ ที่กระจายตัวอย่างสมดุลและเป็นธรรมชาติ การวางตำแหน่งองค์ประกอบอย่างมีแบบแผนนี้สะท้อนถึงความสามารถในการคิดวางแผนล่วงหน้าการมองเห็นภาพรวมของงาน และทักษะในการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งส่วนนี้เป็นองค์ประกอบของพัฒนาการด้านความคิดและการรับรู้ที่เหมาะสมตามวัย

4.6 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้สถาปัตยกรรม ResNet50 สำหรับจำแนกภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติก (ASD) และเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก (NonASD) โดยใช้เทคนิค Cross-validation แบบ 5 Fold เพื่อความเสถียรของผลลัพธ์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลมีค่า โดย Accuracy สูงขึ้นทั้งในกลุ่มอายุ 5-8 ปี (จาก 81.9% เป็น 87.7%) และ 9-12 ปี (จาก 89.5% เป็น 91.1%) ในกลุ่มเด็กอายุ 9-12 ปี โมเดลมีค่า Precision สูง สะท้อนว่าโมเดลสามารถจำแนกลักษณะเฉพาะของเด็กออทิสติกได้ดี อย่างไรก็ตาม ค่า Recall ที่ลดลงอาจเกิดจากความซับซ้อนของภาพวาดในเด็กโต ซึ่งบางภาพอาจเบี่ยงเบนจากรูปแบบที่โมเดลเรียนรู้มา นอกจากนี้ เด็กบางราย

อาจมีลักษณะของภาวะออทิสติกเทียม ซึ่งมีพัฒนาการดีกว่า และภาวะวาดกิลส์เคียงกับเด็กทั่วไป ทำให้โมเดลจำแนกผิดพลาดและส่งผลกระทบต่อความสามารถในการตรวจจับภาพกลุ่มออทิสติกได้อย่างครบถ้วน ในส่วนการวิเคราะห์การทำงานของโมเดลที่ผิดพลาดในกรณี False Negative นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 1 และรูปที่ 3 โดยเฉพาะความคล้ายคลึงของภาพวาดระหว่างเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก ซึ่งในบางกรณีโมเดลอาจทำนายผิดเพราะภาพวาดบางภาพมีลักษณะคล้ายกันเกินไป สรุปได้ว่าโมเดล ResNet50 ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือช่วยคัดกรองเบื้องต้นจากลักษณะภาพวาดของเด็กในด้านการศึกษาและสุขภาพจิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูลภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติกจำนวน 420 ภาพ แบ่งตามช่วงอายุเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 5–8 ปี และ 9–12 ปี โดยใช้ ImageDataGenerator ของ TensorFlow แบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึก (60%) และชุดตรวจสอบ (40%) พร้อมใช้เทคนิค Data Augmentation เพื่อเพิ่มจำนวนภาพรวมเป็น 3,780 ภาพ

โมเดลที่ใช้คือ ResNet50 ซึ่งเป็น CNN ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ภาพ โดยตั้งค่าการฝึกด้วย Adam optimizer, ReLU activation, จำนวนรอบฝึก 20 epochs, batch size 32 และ learning rate 0.001

ผลการศึกษาพบว่า การทำ Data Augmentation ส่งผลให้ประสิทธิภาพของโมเดล ResNet50 ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทุกตัวชี้วัด โดยเฉพาะค่าความถูกต้อง (Accuracy) ที่เพิ่มขึ้นในทั้งสองกลุ่มอายุ โดยกลุ่ม 5–8 ปี เพิ่มขึ้นจาก 81.9% เป็น 87.7% และกลุ่ม 9–12 ปี เพิ่มขึ้นจาก 89.5% เป็น 91.1% นอกจากนี้ค่าความไว (Sensitivity) ของกลุ่ม 5–8 ปี ดีขึ้นอย่างมาก แสดงถึงความสามารถในการตรวจจับเด็กออทิสติกที่ดีขึ้น และค่าความจำเพาะ (Specificity) ของกลุ่ม 9–12 ปีก็เพิ่มขึ้น แสดงถึงความสามารถในการจำแนกเด็กทั่วไปได้แม่นยำขึ้น เช่นเดียวกับค่า F1-score ที่สูงขึ้นในกลุ่ม 5–8 ปี และอยู่ในระดับสูงในกลุ่ม 9–12 ปี ทั้งนี้ Confusion Matrix ยังยืนยันว่าโมเดลสามารถจำแนกทั้งเด็กออทิสติกและเด็กทั่วไปได้อย่างถูกต้องมากขึ้น โดยรวมแล้ว การทำ Data Augmentation มีบทบาท

สำคัญในการเพิ่มความแม่นยำและเสถียรภาพของโมเดล ทำให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ภาพวาดของเด็กเพื่อช่วยสนับสนุนการวินิจฉัยภาวะออทิสติก

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าโมเดล ResNet50 มีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะ โดยเฉพาะในกลุ่มอายุ 9–12 ปี ที่ให้ผลแม่นยำกว่าเล็กน้อย อันเนื่องมาจากการที่ชัดเจนของเด็กในช่วงวัยนี้ การใช้เทคนิค Cross-validation แบบ 5 Fold ช่วยประเมินความสามารถของโมเดลอย่างรอบด้าน อย่างไรก็ดี ยังมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ ได้แก่ คุณภาพข้อมูลภาพวาด, การตั้งค่าพารามิเตอร์ของโมเดล, ความหลากหลายของภาพวาด, และข้อผิดพลาดจากการทำนาย โดยเฉพาะกรณี False Negative นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 1 และรูปที่ 3 ที่ลักษณะของภาพวาดมีความใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ การวิเคราะห์ลักษณะของภาพวาดพบว่า เด็กที่มีออทิสติกมักใช้สีน้อย วาดซ้ำ วางองค์ประกอบไม่สมดุล และมีรูปทรงไม่ชัดเจน ดังรูปภาพตัวอย่างในรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 10 จะตรงข้ามกับเด็กที่ไม่มีภาวะออทิสติก ซึ่งโมเดล ResNet50 สามารถแยกแยะความแตกต่างเหล่านี้ได้อย่างแม่นยำด้วยค่าความไวและความจำเพาะในระดับสูง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้โมเดลกับงานลักษณะนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ข้อจำกัดของการวิจัย

5.3.1 ขนาดของชุดข้อมูล

แม้ว่าจะมีการใช้ Augmentation แต่จำนวนภาพต้นฉบับที่ใช้ยังมีขนาดจำกัด การเพิ่มความหลากหลายเชิงวัฒนธรรมก็สำคัญ เพราะเด็กในต่างพื้นที่อาจมีลักษณะการวาดภาพที่แตกต่างตามบริบทสังคม หากสามารถรวบรวมข้อมูลได้มากขึ้น อาจช่วยให้โมเดลเรียนรู้ได้ดีขึ้น

5.3.2 การตีความผลลัพธ์

โมเดลสามารถจำแนกภาพวาดได้ในระดับหนึ่ง แต่ยังไม่สามารถให้เหตุผลหรืออธิบายถึงลักษณะเฉพาะของภาพที่เป็นปัจจัยในการจำแนกได้อย่างชัดเจน

5.3.3 ข้อจำกัดทางด้านเทคนิค

การใช้โมเดล CNN จำเป็นต้องมีทรัพยากรด้านการประมวลผลสูง เช่น GPU ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะเมื่อชุดข้อมูลจำนวนมากขึ้น

5.3.4 ปัจจัยทางด้านมนุษย์

พฤติกรรมและสภาพแวดล้อมของเด็กมีผลต่อสภาพแวดล้อมของพวกเขา ซึ่งเป็นปัจจัยที่โมเดลไม่สามารถนำมาพิจารณาได้โดยตรง

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 แนวทางการนำไปใช้งานจริง ได้แก่ การพัฒนาเป็นเครื่องมือช่วยวินิจฉัยสำหรับแพทย์หรือนักจิตวิทยา โดยสามารถใช้ร่วมกับการวิเคราะห์พฤติกรรมเด็ก เช่น การสังเกตท่าทางขณะวาดภาพ เพื่อเสริมการประเมินความเสี่ยงของภาวะออทิสติกในเบื้องต้น นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์แท็บเล็ตหรือ iPad ซึ่งเด็กสามารถวาดภาพและรับผลการวิเคราะห์เบื้องต้นได้แบบเรียลไทม์ เพื่ออำนวยความสะดวกในการคัดกรองในสถานศึกษา ศูนย์พัฒนาเด็กหรือคลินิกเฉพาะทาง ทั้งนี้ ควรมีการปรับปรุงโมเดลให้สามารถรองรับข้อมูลที่หลากหลายและซับซ้อนยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความครอบคลุมในการประเมิน

5.4.2 แนวทางการวิจัยในอนาคต ควรเพิ่มขนาดและความหลากหลายแหล่งของชุดข้อมูล เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการจำแนก ทดลองเปรียบเทียบกับโมเดลอื่น เช่น โมเดลที่ใช้ Transformer หรือ Generative AI และประยุกต์ใช้ Machine Learning ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของเด็กแบบเรียลไทม์

5.5 สรุปภาพรวมของงานวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยทั้งหมด พบว่าโมเดล CNN ที่ใช้ ResNet50 นี้สามารถจำแนกภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติกและเด็กที่ไม่มีภาวะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่า Accuracy เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 81.9% เป็น 87.7% หลังการทำ Data Augmentation โดยเฉพาะในกลุ่มอายุ 5–8 ปีที่มีการพัฒนาอย่างชัดเจน ขณะที่กลุ่มอายุ 9–12 ปียังคงรักษาค่าความแม่นยำได้อย่างดี จาก 89.5% เป็น 91.1% ส่วนข้อผิดพลาดจากการทำนาย โดยเฉพาะกรณี False Negative นั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 1 และรูปที่ 3 ที่ลักษณะของภาพวาดมีความใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ การวิเคราะห์ลักษณะของภาพวาดพบว่า เด็กที่มีออทิสติกมักใช้สีน้อย วาดซ้ำ วางองค์ประกอบไม่สมดุล และมีรูปทรงไม่ชัดเจน ดังรูปภาพตัวอย่างในรูปที่ 5 - รูปที่ 10 นอกจากนี้โมเดลยังให้ผลลัพธ์ที่ดีในด้านตัวชี้วัดอื่น ๆ และไม่พบปัญหา overfitting อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโมเดลในการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะจากภาพวาดของเด็กที่มีภาวะออทิสติก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการ

วินิจฉัยเบื้องต้นในพื้นที่ที่ขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้ควรมีการพัฒนาต่อยอดโดยเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล และทดลองใช้โมเดลหรือเทคนิคอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] MedPark Hospital, “Autism Spectrum Disorder (ASD),” MedPark Hospital, Available: <https://www.medparkhospital.com/disease-and-treatment/autism-spectrum-disorder>. [Accessed: Dec. 24, 2024].
- [2] Art Therapy Resources, “The Power of Art Therapy for Children with Autism,” Art Therapy Resources [Online]. Available: https://arttherapyresources-comau.translate.google.com/children-autism/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=th&_x_tr_hl=th&_x_tr_pto=tc. [Accessed: Dec. 24, 2024].
- [3] T. Thepsena, C. Khemapatapan, and D. Rakrattana, “Reservoir release forecasting by artificial neural network at Pa Sak Jolasid Dam,” 2022 7th International STEM Education Conference (iSTEM-Ed). IEEE, pp. 1–6, July 06, 2022. doi: 10.1109/istem-ed55321.2022.9920896.
- [4] A. Jeamaon and C. Khemapatapan, “Development Cyber Risk Assessment for Intrusion Detection Using Enhanced Random Forest,” ECTI-CIT Transactions, vol. 18, no. 4, pp. 429–442, Sept. 2024, doi: 10.37936/ecti-cit.2024184.256185.
- [5] R. Quaglia, C. Longobardi, N. O. Iotti, and L. E. Prino, “A new theory on children’s drawings: Analyzing the role of emotion and movement in graphical development,” Infant Behavior and Development, vol. 39, pp. 81–91, May 2015, doi: 10.1016/j.infbeh.2015.02.009.
- [6] B. Kamala, K. S. Mahanaga Pooja, S. Varsha, and K. Sivapriya, “ML Based Approach to Detect Autism Spectrum Disorder (ASD),” The 4th International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCCT), pp. 313–318, Dec. 16, 2021. doi: 10.1109/icccct53315.2021.9711826. J. Deng, M. Rakibul Hasan, M. Mahmud, M. Mahbub Hasan, K. Asif Ahmed,

- [7] and M. Zakir Hossain, “Diagnosing Autism Spectrum Disorder Using Ensemble 3D-CNN: A Preliminary Study,” The IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 3480–3484, Oct. 16, 2022. doi: 10.1109/icip46576.2022.9897628.
- [8] Md. F. Rabbi, S. M. M. Hasan, A. I. Champa, and Md. A. Zaman, “A Convolutional Neural Network Model for Early-Stage Detection of Autism Spectrum Disorder,” 2021 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD), pp. 110–114, Feb. 27, 2021. doi: 10.1109/icict4sd50815.2021.9397020.
- [9] R. Patankar, S. Vedpathak, V. Thakre, P. Sethi, and S. Sawarkar, “AutiScan: Screening of Autism Spectrum Disorder Specific to Indian Region,” The IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT), pp. 1–8, Oct. 07, 2022. doi: 10.1109/gcat55367.2022.9972038.
- [10] V. Kavitha and R. Siva, “Classification of Toddler, Child, Adolescent and Adult for Autism Spectrum Disorder Using Machine Learning Algorithm,” Proceeding of the 2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), pp.2444-2449, Mar 2023, doi: 10.1109/ICACCS57279.2023.10112932.
- [11] J. Shin, Md. Maniruzzaman, Y. Uchida, Md. A. M. Hasan, A. Megumi, and A. Yasumura, “Handwriting-Based ADHD Detection for Children Having ASD Using Machine Learning Approaches,” IEEE Access, vol. 11, pp. 84974–84984, 2023, doi: 10.1109/access.2023.3302903.
- [12] M. Mosharraf and F. Banabazi, “Identifying Children’s Personality Styles through Drawing Analysis using Machine Learning,” The 14th International Conference on Information and Knowledge Technology (IKT), pp. 7–12, Dec. 26, 2023. doi: 10.1109/ikt62039.2023.10433056.
- [13] A. Popescu and N. Popescu, “Drawing Interpretation Using Neural Networks and Accessibility Implementation in Mobile Application,” Computation, vol. 10, no. 11, p. 202, Nov. 2022, doi: 10.3390/computation10110202.
- [14] A. Hendr, U. Ozgunalp, and M. Erbilek Kaya, “Diagnosis of Autism Spectrum Disorder Using Convolutional Neural Networks,” Electronics, vol. 12, no. 3, p. 612, Jan. 2023, doi: 10.3390/electronics120306

Apply Monte Carlo Simulation to Synthesize Data

*Chaiyaporn Khemapatapan and Orawan Hensirisak **
Computer Engineering, College of Engineering and Technology,
Dhurakij Pundit University

**Corresponding Author: 66130226@dpu.ac.th*

Received: June 24, 2025; Revised: July 1, 2025; Accepted: August 5, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT – To address the problem of insufficient data for event analysis and simulation, especially in the AI era, data synthesization with accuracy and reliability is the solution. Data synthesization is the process of creating new data that mimics statistic of real data to increasing the amount of data available for further analysis and simulation. However, the existing methods like Generative Adversarial Networks (GANs) and Variational Autoencoders (VAEs) often struggle with categorical data. This research, therefore, presents data synthesis using Monte Carlo Simulation and compares with (GANs) and (VAEs). Seven datasets were used to synthesize 1,500 rows each then compared between real data and data synthesization using 1) The Kolmogorov-Smirnov Two-Sample Test, 2) T-test, 3) Cosine Similarity Test, 4) Multiple Linear Regression Analysis, and 5) direct data comparison. The results show that the Monte Carlo Simulation is highly effective in synthesizing data with numerous categorical variables, accurately simulating data distribution and means. The Monte Carlo simulation was 60.47% more efficient than GANs and 52.41% more efficient than VAEs. However, the Monte Carlo is not suitable for synthesizing data when there are many continuous variables or when the data distribution is not normal, as the synthetic data is generated from a normal distribution.

KEY WORDS -- Data Synthesization, Generative Adversarial Networks, Variational Autoencoders, Monte Carlo Simulation

1. Introduction

Data analysis using insufficient data can lead to various problems such as accuracy or reliability. Since the sample size cannot cover the entire population which will become a cause of data volatility, results might be biased towards one demographic group and risk of inaccurate decision-making due to difficulty in assessing potential risks which can be harmful to the organization and wasted time in analysis and produces results that cannot help in making the desired decisions. One of the solutions to the problem of insufficient data for analysis is using data synthesization which is very useful in case of insufficient data for analysis and it can avoid the risk of using real data containing personal information and save time and cost on collecting new data.

Currently, there are popular methods for data synthesization, such as Generative Adversarial Networks (GANs), which uses deep learning that focus on synthesizing data to closely resemble real data, or Variational Autoencoders (VAEs), which use the principle of dimensionality reduction

through an encoder and reconstructing the data dimensions through a decoder.

However, these methods still have problems with inappropriateness for some variables, for example, being suitable for numeric variables but not for categorical variables, or being suitable for categorical variables but not for numeric variables. From the above problems, this research focuses on creating synthetic data using Monte Carlo Simulation method which uses random sampling from the distribution of real data to create a new data set of numerical variables with statistical properties close to the real data and uses the principle of Low of Change to create a new data set of categorical variables with a probability value of occurrence close to the real data.

2. Data Synthesization

Data synthesization is the method to create a new data. The concept for synthesization is for emulating statistically based on real data but without real data in result. The benefits of using data synthesization is reducing the risk of privacy

violations from using real data containing personal information, It can be customized in case of need different data set to cover situations that may not be found in real data and can reduce the cost and time of data collection. [1]

Currently, there are popular methods for data synthesization, such as Generative Adversarial Networks (GANs), which are a form of deep learning that focuses on synthesizing data to closely resemble real data, and Variational Autoencoders (VAEs), which use the principle of dimensionality reduction through an encoder and reverse the dimensionality transformation using a decoder. However, these methods may encounter issues with the generated data lacking diversity, being unsuitable for certain variables, and having statistical properties that do not closely match real data. This chapter will discuss the theories related to data synthesization using Generative Adversarial Networks, Variational Autoencoders (VAEs), and Monte Carlo Simulation methods, performance testing between real data and data synthesization, and related research.

Data Synthesization can be divided into 3 types:

- 1) Fully synthetic data. The synthetic data does not contain any real data.
- 2) Partially synthetic. The data from this synthesization contains both real and synthetic data.
- 3) Hybrid synthetic data. The data from this synthesization combines both real data and synthetic data. [2]

2.1 Data Synthesization Method

2.1.1 Generative Adversarial Networks (GANs) [3] are developed for data synthesization to be as realistic as possible. It uses a learning technique with a model consisting of two deep neural networks: 1) The generative model creates new data so that the discriminator model can detect whether the generated data is real or generated data. 2) The discriminator model which determines whether the samples coming from the generative model are real data or generated data.

Conditional Tabular Generative Adversarial Network (CTGAN) [4] is a method for generating synthetic tabular data based on GANs, with a key development principle being the use of non-Gaussian distributions.

2.1.2 Monte Carlo Simulation [5] is a synthesis method developed as a guideline for decision-making in problems that cannot be easily modeled or involve complex parameters. This method uses

mathematical equations based on the principle known as the "Law of Chance".

2.1.3 Variational Autoencoders (VAEs) are a type of neural network that consists of two components: 1) Encoder, which creates encodings from data samples, and then this variable is fed into the generative network (Decoder). 2) Decoder network, which attempts to reconstruct the original data from the information encoded by the encoder network.

The Gaussian Variational Autoencoder (GVAE) [6] is based on the Variational Autoencoders (VAEs) and uses the Gaussian distribution equation derived from the distribution modeled by the Decoder network, allowing the basic distribution to be approximated.

2.2 Usable Synthetic Data

To assess whether synthetic data can be useful, this research employs various statistical testing methods [7] as listed in the below to evaluate the usable of synthetic data.

2.2.1 The Kolmogorov-Smirnov test is a test to determine whether two independent groups of real and synthetic data come from the same distribution.

2.2.2 The T-test is a test to compare the means of two independent sample data sets, with the preliminary agreement that the scores collected from both groups must be independent of each other.

2.2.3 Pearson's correlation is a test to find the correlation between datasets, used to explore whether two datasets are related or not.

2.2.4 Cosine Similarity Test is an examination of the similarity between two datasets using two vectors. It measures the size of the angle formed between the two vectors in an n-dimensional space, disregarding the length of the vectors and determining whether the two vectors point in the same direction.

2.2.5 Regression Analysis [8] is a statistical test for checking correlation between two or more variables, by dividing variable into independent variable and dependent variable then do a prediction equation.

2.3 Related Researches

Lei Xu and Kalyan Veeramachaneni [9] studied how to synthesis of tabular data using Generative Adversarial Networks. The researchers developed a model for data synthesization, focusing on creating tabular data with mixed variable types, meaning multiple variables with both continuous and discrete distributions. They compared the synthetic data obtained from the Generative Adversarial

Networks model in tabular form or used Macro-F1 to evaluate the model's performance in classifying data within each data group. The experiments found that Generative Adversarial Networks could effectively capture the relationships between variables and could be used with large datasets. However, they could only simulate data in numerical form.

Bauke Brenninkmeijer [4] conducted a study on modeling and developing tabular data using Generative Adversarial Networks with the aim of increasing the diversity of relationships among variables simulated from the Generative adversarial training for synthesizing tabular data (TGAN) model and to improve data synthesization methods using techniques such as TGAN (Generative adversarial training for synthesizing tabular data), WGAN-GP (Wasserstein GAN + Gradient Penalty), TGAN-SKIP, MedGAN, and TableGAN. From this research, it was found that the WGAN-GP model had the highest efficiency in data synthesization when compared to the three datasets.

Mathijs van Bree [6] conducted a study on data synthesization using the Variational Autoencoder (VAEs) method to test data synthesization and compare the suitability of variable types between categorical and continuous variables. The datasets used in this study consist of three sets, testing whether the synthetic data can replace the real data. The test models used for comparison are 7 models: 1. GVAE 2. ST-VAE 3. TGAN 4. WGAN 5. SKIP 6. MedGAN 7. TableGAN found that the dataset contains many categorical variables, making it unsuitable for using the Variational Autoencoder (VAEs) technique for data synthesization.

Kantana Loasirikul [5] studied the effectiveness of methods for handling imbalanced data for classification under different conditions, with the scope of the research being to examine the effectiveness of classifying educational data under imbalanced conditions. The data used in this study was synthetic using the Monte Carlo simulation method, with 8 independent variables, each following a normal distribution. The data was synthetic under 6 different conditions. From the experimental results, it was found that the data balancing method has a two-way interaction with the following conditions. (1) Sample size (2) Percentage of data between primary group data and secondary group data (3) Attrition rate and (4) data classification techniques, and found a three-way interaction with the following conditions (1) Sample size and the number of variables between categorical variables and continuous variables (2) Sample size and data classification techniques, and (3) Percentage of data between primary group data

and secondary group data, and (4) Data classification techniques.

Leonardo Locowic et al. [10] conducted a study on data synthesization using the Monte Carlo Tree Search (MCTS) method and Large Language Models (LLMs). The researchers employed the data generation process from LLMs using temperature scaling and top-k sampling techniques to enhance the diversity of the generated data. Subsequently, they used Monte Carlo Tree Search to simulate evaluation outcomes, assessing the results using Kullback-Leibler Divergence (KL Divergence) and Jensen-Shannon Divergence (JS Divergence). The experiments revealed that the data synthesization method combining MCTS with LLMs can produce high-quality and realistic data synthesization, making it a good alternative for generating large-scale data synthesization.

Muhammad Nur Aqmal Khatiman et al. [11] conducted a study on the generation of synthetic data of 5G network performance metrics using Conditional Tabular Generative Adversarial Networks (CTGAN) and Topological Variational Autoencoder (TVAE) are trained and synthetic data is generated via the Synthetic Data Vault (SDV) module, a library for synthetic data generation in Python. From the experimental results, CTGAN gives data distribution values closer to the real data in some columns, while TVAE gives better overall results with a statistical similarity score of 94.14% compared to CTGAN's 89.66%.

Thi Thi Zin et al. [12] conducted a study on the generation of synthetic data of cow posture changes is helpful for reliability evaluation of indicators to predict when the calving event occurs using Markov Chain Monte Carlo (MCMC) to support the prediction of delivery time and reduce the burden of collecting real data which requires a lot of time and resources. The researchers limit the behavior patterns of a pregnant cow into four categories such as Lying State (L), Motion from Lying to Standing state (LS), Standing State (S) and Motion of Standing to Lying State (SL). Real data from 25 dairy cows were collected from the farm and used to construct a co-occurrence matrix and a transition matrix of their behaviors. Using these matrices, Monte Carlo Simulation was then applied to generate synthetic behavior sequences by randomly selecting each subsequent behavior based on the transition probabilities. Finally, it was found that synthesization data could be used to replace some of the real data to predict delivery time.

3. Methodology

3.1 Dataset

The datasets used in this study are listed as below:

- 3.1.1 The Delaware Births dataset [13]
- 3.1.2 Heart Rate Forecasting dataset [14]
- 3.1.3 Stock Market Data of USA dataset [15]
- 3.1.4 The Adult Census Income dataset [16]
- 3.1.5 The Car Evaluation dataset [17]
- 3.1.6 NIFTY-50 Stock Market (2000 - 2021) dataset [18]
- 3.1.7 Employee/HR (All in One) dataset [19]

3.2 Data Preparation

Data preparation is a step to make real data ready to synthesize new data. The process is as follows:

- to remove missing values
- to remove columns that cannot be synthesized
- to remove rows with abnormal values
- to randomly select data for 1500 rows
- to test the random data to see if the original data distribution and the original mean are equal to the random data using the Kolmogorov–Smirnov test and the T-test. If the original data distribution and the original mean are not equal to the random data, continue randomizing until the test results show that the data has the same distribution and same mean.

3.3 Data Synthesization

The procedures of data synthesization for various methods can be listed as follows:

3.3.1. Data synthesization using Monte Carlo Simulation as shown in Figure 1 and

3.3.2. Data synthesization using CTGAN and Variational Autoencoders (VAEs) as shown in Figure 2.

It can be noted that Monte Carlo Simulation method is more complex than the other methods because each type of variable has its own operation.

3.4 Performance Evaluation

Performance evaluation is a step to assess how well the synthetic data reflects the real data. The process is as follows:

3.4.1. Data Preparation Steps

Step 1. Convert categorical variables into numerical format using Label Encoding.

Step 2. Convert character-related variables into numerical format using Sentence Transformer.

Step 3. Arrange the columns between real and synthetic data to match.

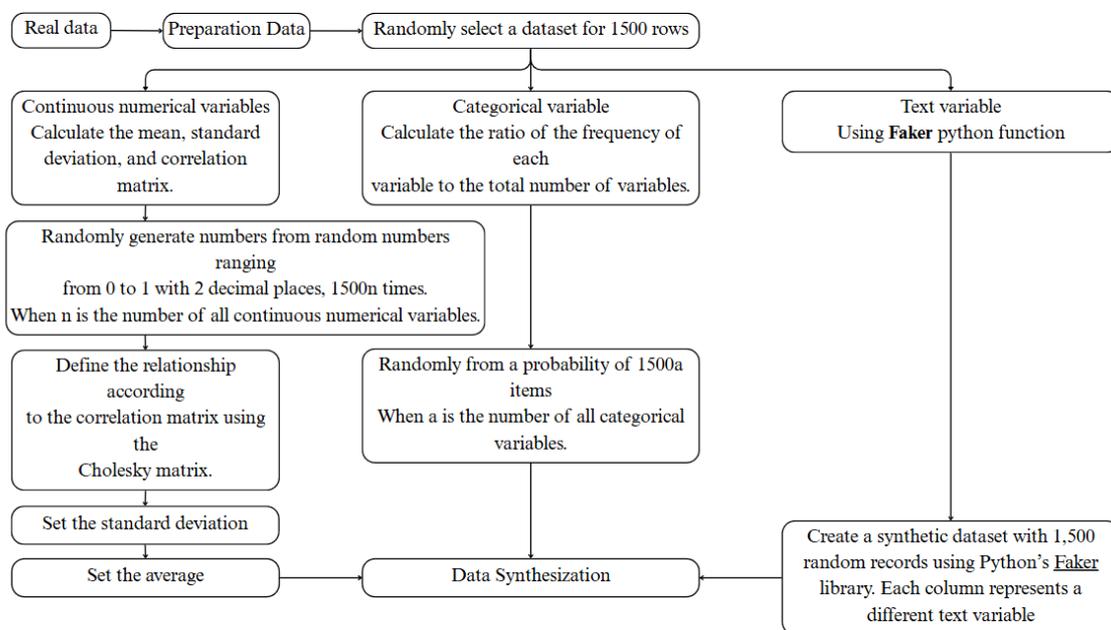


Figure 1 The process of data synthesization using Monte Carlo Simulation

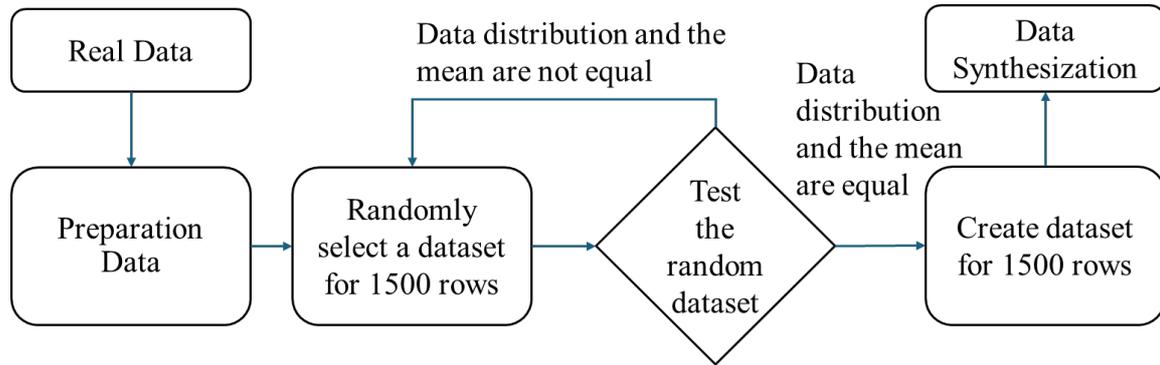


Figure 2 The process of data synthesization using CTGAN and VAEs

Table 1 the total number of variables obtained from data synthesization.

Dataset name	Total number of variables	Number of categorical variables	Number of numerical variables	Number of character-related variables
Delaware Births [13]	16	16	0	0
Heart Rate Forecasting [14]	32	1	31	0
Stock Market Data of USA [15]	7	1	6	0
Adult Census Income [16]	15	9	6	0
Car Evaluation [17]	7	7	0	0
NIFTY-50 Stock Market [18]	14	2	12	0
Employee/HR [19]	17	3	2	12
Total	108	39	57	12

3.4.2. Test the specified statistics using testing methods as follows:

- Kolmogorov-Smirnov Two-Sample test is used to determine whether real and synthetic data have the same distribution,
- T-test is used to test whether the means obtained from real and synthetic data are same,
- Similarity Score test is used to measure the similarity between real and synthetic data, and
- Regression analysis is used to predict the value of the dependent variable when the values of the independent variables are specified.

Table 1 shows the total number of variables that can be used in data synthesization by comparing the result of the Kolmogorov-Smirnov two-sample test and the T-test

4. Experimental Results

4.1 The Kolmogorov-Smirnov test

From the Figure 3, the results found that the Monte Carlo technique was the most effective to

accurately synthesize categorical variable and character-related data because It is able to simulate the distribution of data for 38 out of 39 variables while it can simulate the character-related data for 8 out of 12 variables. However, data synthesization for numerical variables of all three techniques did not perform well, with CTGAN, Monte Carlo, and VAEs being able to simulate 13, 3, and 9 variables, respectively, out of a total of 57 variables.

4.2 The T-test

From the Figure 4, it was found that the data synthesization of categorical variables using the Monte Carlo technique is more efficient. In addition, it can accurately simulate the mean for 38 variables out of 39 variables. Character-related variables were able to simulate the mean for 8 out of 12, meaning it can accurately simulate the mean of the data for datasets with many categorical variables due to the data generation method based on probability principles for random data. The data synthesization of numerical variables using the CTGAN technique was more efficient, accurately

simulating the mean of the data for 54 variables, next is the synthesis using the VAEs technique, which can accurately simulate the mean of the data for 46 variables out of 57 variables.

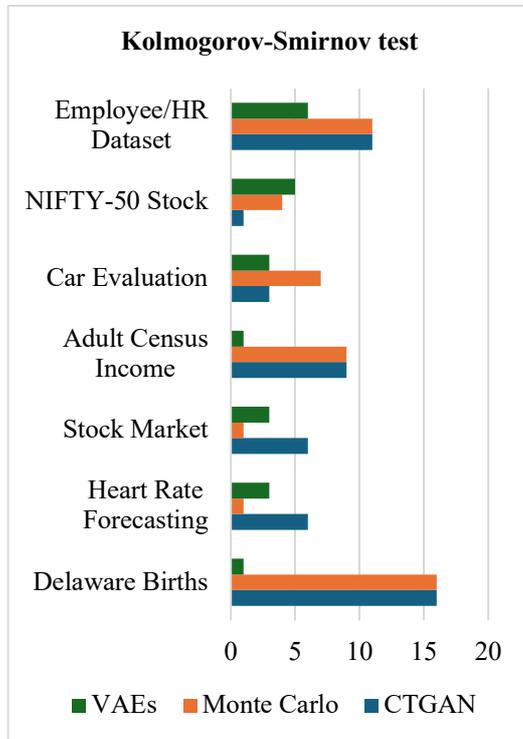


Figure 3 Results of the Kolmogorov-Smirnov test

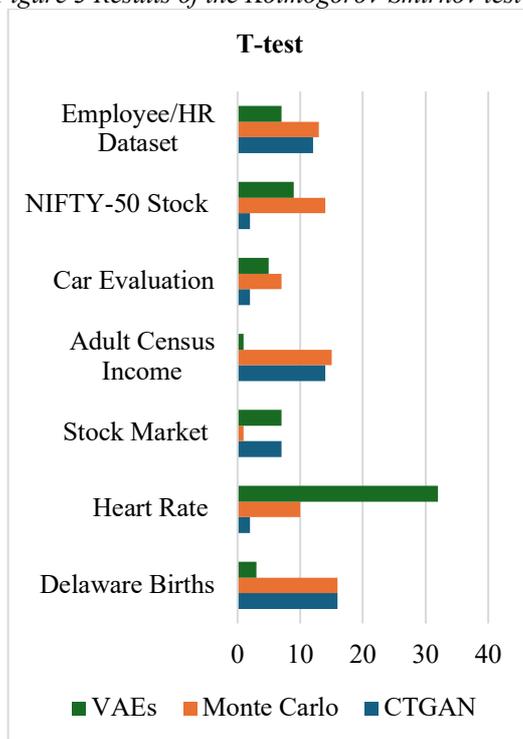


Figure 4 Results of the T-test

4.3 The Similarity Score

The analysis from the Table 2 found that all three techniques can synthesize well in cases where the dataset includes numerical variables. However, the data synthesize using the VAEs technique had a Similarity Score of 0.5248 for the STOCK MARKET DATA OF USA dataset because it could not synthesize data with high value, e.g., 1.394626e+09. The data synthesization using the GANs technique has a Similarity Score of 0.4413 for the NIFTY-50 Stock Market Data (2000 - 2021) dataset due to its complex numerical relationships. All three data synthesization techniques have different Similarity Scores for the Car Evaluation dataset because it consists entirely of categorical numerical data. The average Similarity Score of the Monte Carlo method is the highest at 0.9296, indicating the consistency of the synthetic data.

4.4 The Regression Analysis

From the results as shown in Table 3, it can be found that data synthesization using the Monte Carlo technique is highly effective and mostly close to the Adj. R-squared values. The differences from the four datasets—Stock Market Data of the USA, Adult Census Income, NIFTY-50 Stock Market Data and Employee/HR Dataset were the smallest compared to other synthesis techniques. However, the Delaware Births dataset still show substantially lower than those of the real data, dropping from 0.718 to 0.000. This indicates that while Monte Carlo outperforms other methods in this specific metric, it still lacks the ability to fully replicate complex statistical relationships.

4.5 The comparison between real data and synthetic data

Table 4 shows the number of identical rows between real and synthetic data. The Monte Carlo technique is most effective. The GAN technique has duplicates in two datasets: Delaware Births and Car Evaluation. The dataset with the most duplicates among the three synthesis techniques is Car Evaluation, which is a dataset with all categorical variables. Therefore, it exceeds the number of

duplicates because the number of categorical data is less than using numerical randomization.

Table 2 The Similarity Score

Dataset Name	Simulation method		
	GANs	Monte Carlo	VAEs
Delaware Births [13]	0.9998	0.9999	0.9999
Heart Rate Forecasting [14]	0.8357	0.8567	0.9872
Stock Market Data of USA [15]	0.8627	0.9970	0.5248
Adult Census Income [16]	0.8441	0.9279	0.9983
Car Evaluation [17]	0.6613	0.7302	0.7561
NIFTY-50 Stock Market [18]	0.4413	0.9999	0.9999
Employee/HR [19]	0.9999	0.9960	0.9999

Table 3 The ADJ. R-SQUARED value from the regression analysis

Dataset name	Adj R -Squared from real data	GANs	Monte Carlo	VAEs
Delaware Births [13]	0.718	0.000	-0.000	0.005
Heart Rate Forecasting [14]	0.190	0.016	0.024	0.279
Stock Market Data of USA [15]	0.121	0.002	0.077	0.070
Adult Census Income [16]	0.093	0.006	0.046	0.155
Car Evaluation [17]	0.107	-0.000	-0.001	0.324
NIFTY-50 Stock Market [18]	0.437	-0.586	0.485	0.259
Employee/HR [19]	0.011	0.033	0.012	0.088

Table 4 The number of rows that are the same between real data and data synthesization.

Dataset name	The same amount		
	GANs	Monte Carlo	VAEs
Delaware Births [13]	17	0	0
Heart Rate Forecasting [14]	0	0	0
Stock Market Data of USA [15]	0	0	0
Adult Census Income [16]	0	0	0
Car Evaluation [17]	484	706	1143
NIFTY-50 Stock Market [18]	0	0	0

5. Conclusion

Three data synthesization techniques were identified: GANs, Monte Carlo technique and VAEs. The comparison in terms of Kolmogorov-Smirnov test, T-test, Regression Analysis, means, similarity score, and the number of duplicates are applied. The results found that data synthesization using the Monte Carlo method performed well in scenarios where the number of categorical variables is more than the number of continuous variables but comparison of correlation coefficients found that

data synthesization using the Monte Carlo method is not suitable for applications where predictive modeling or inferential analysis is essential. This is because the Monte Carlo method uses the law of large numbers, making the random sampling of categorical variables more realistic than other data synthesization methods. However, it is not suitable for synthesizing data when data contain many continuous variables or when the data distribution is not normal, as the synthetic data is generated from a normal distribution.

From the directly comparison of real and synthetic data to determine whether the data synthesization can conceal personal information, the datasets used include the Heart Rate Forecasting dataset, the Delaware Births dataset, and the Adult dataset. The data synthesization generated using the Monte Carlo method and VAEs performed the best, with no duplicate data found between the real data and data synthesization.

Data synthesization using the Monte Carlo simulation technique is the most efficient, especially for categorical variables. The Monte Carlo simulation technique can be done quickly as it does not require the model to learn all the previous data first. The Monte carlo simulation can manually adjust the parameters to introduce greater diversity in the data, ensuring alignment with specific data characteristics and analytical requirements. Moreover, under privacy constraints, the Monte Carlo simulation technique can still generate data synthesization without retaining any real data while maintaining the statistical properties of the data.

References

- [1] Turing, “Synthetic Data Generation: Definition, Types, Techniques, and Tools,” TURING [online]. Available: <https://www.turing.com/kb/synthetic-data-generation-techniques#what-is-synthetic-data?> (Accessed Feb. 12, 2025).
- [2] A. Beduschi, “Synthetic data protection: Towards a paradigm change in data regulation”, Law School, University of Exeter, Exeter, UK, 2024.
- [3] W. Phusomsai, “Extending GANs’ Latent Space for Diverse Image Generation from Sketches,” M.S. thesis, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2019.
- [4] B. Brenninkmeijer, “On the Generation and Evaluation of Tabular Data using GANs,” Radboud University, Houtlaan 4, 6525 XZ Nijmegen, Netherlands, 2019.
- [5] K. Laosirikul, “The Performance of Imbalanced Data Handling Methods for Classification under Different Conditions,” M.S. thesis, Dept. of Statistics, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2022.
- [6] M. van Brer, “Unlocking the Potential of Synthetic Tabular Data Generation with Variational Autoencoders,” Radboud University, Nijmegen, Netherlands, 2019.
- [7] C. Noikhamyang, “A Comparison of Parametric and Nonparametric Statistical Tests for Identifying Differences between Two Independent Populations,” M.S. project, Dept. of Statistics, Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand, 2009.
- [8] Chiang Mai University, “Statistics and Health Data Analysis,” Chiang Mai, Thailand, 2020.
- [9] L. Xu and K. Veeramachaneni, "Synthesizing Tabular Data using Generative Adversarial Networks," LIDS, MIT, Cambridge, MA, USA, 2018.
- [10] L. Locowic, Alessandro Monteverdi, “Synthetic Data Generation from Real Data Sources using Monte Carlo Tree Search and Large Language Models,” arXiv preprint arXiv:2401.12345, 2024. Available: https://d197for5662m48.cloudfront.net/documents/publicationstatus/224165/preprint_pdf/3c3ef1837551b4cf3bb7cfd68385de99.pdf
- [11] M. N. A. Khatiman, et.al, “Generation of Synthetic 5G Network Dataset Using Generative Adversarial Network (GAN),” 2023 IEEE 16th Malaysia International Conference on Communication (MICC). IEEE, pp. 141–145, Dec. 10, 2023. doi: 10.1109/micc59384.2023.10419563.
- [12] T. T. Zin, et.al, “Markov Chain Monte Carlo Method for the Modeling of Posture Changes Prior to Calving,” The IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech). IEEE, pp. 291–292, Mar. 09, 2021, doi: 10.1109/lifetech52111.2021.9391822.
- [13] Noey, *Delaware Births* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/noeyislearning/delaware-births/data> (Accessed Feb. 12, 2025).
- [14] G. Dutta, *Heart Rate Forecasting* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/gauravduttakiit/heart-rate-forecasting> (Accessed Feb. 12, 2025).
- [15] A. Rafiee, *Stock Market Data of USA* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/ahmadrafiee/stock-market> (Accessed Feb. 12, 2025).
- [16] R. Sandiani, *Census Income* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/uciml/adult-census-income/data> (Accessed Feb. 12, 2025).
- [17] U. Zia, *Car Classification Dataset* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/stealthtechnologies/car-evaluation-classification> (Accessed Feb. 12, 2025).
- [18] Vopani, *NIFTY-50 Stock Market Data (2000 - 2021)* [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/rohanrao/nifty50-stock->

- market-data (Accessed Feb. 12, 2025).
- [19] R. S. Rana, *Employee/HR Dataset (All in One)* [Online]. Available: https://www.kaggle.com/datasets/ravindrasinghrana/employeedataset/data?select=recruitment_data.csv (Accessed May 31, 2025).

Comparative Study of Machine Learning and Deep Learning in Optical Transceiver Failure Analysis

Phairoj Luengvongsakorn^{1,2}, Wanchai Pijitrojana²

¹ *TERAHOP (THAILAND) CO., LTD198, Nong Pra Ka Di Village, Moo.7, Nong Plamoh sub-district, Nong Khae district, Saraburi 18140 Thailand*

² *Department of Electrical and Computer Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University, Klongluang, Pathumthani 12120 Thailand*
phairoj.lue@dome.tu.ac.th, pwanchai@engr.tu.ac.th

Received: August 14, 2025; Revised: September 3, 2025; Accepted: November 7, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT – High-speed optical transceivers require robust failure analysis methods to ensure production reliability in modern communication systems. This study systematically evaluates machine learning algorithms (Random Forest, XGBoost) and deep learning approaches (specifically Fully Connected Neural Networks) for optical transceiver failure analysis across two operational scenarios using real manufacturing data from 6,446 units. In a comprehensive data analysis (Scenario #1), both Random Forest and XGBoost achieved exceptional performance (MSE: 0.0000, MAE: 0.0001), while FCNN demonstrated comparable results (Loss: 0.0002, MAE: 0.0002). In a focused analysis of failed units (Scenario #2), XGBoost outperformed other models with the lowest error metrics (MSE: 0.0091, MAE: 0.0165) compared to Random Forest (MSE: 0.0125, MAE: 0.0399) and FCNN (Loss: 0.1571, MAE: 0.2987). SHAP analysis consistently identified influential features across both scenarios, providing actionable insights for quality control optimization. These findings establish a quantitative framework for selecting optimal AI approaches for optical transceiver failure analysis. The results suggested that machine learning models were preferable for datasets smaller than 10,000 samples, whereas deep learning approaches showed superior potential for larger-scale data. The proposed methodology advances AI-driven failure diagnostics in optical transceiver manufacturing.

KEY WORDS -- Optical Transceiver; Production; Machine Learning (ML); Deep Learning (DL); SHAP; Failure Analysis (FA); Artificial Intelligence (AI)

1. Introduction

The evolution of optical transceivers from 100G to 800G and beyond has introduced unprecedented complexity in failure mechanisms. Traditional failure analysis approaches, primarily based on statistical correlation methods, have proven inadequate for handling the multi-dimensional parameter spaces inherent in modern high-speed transceivers. The integration of PAM4 modulation schemes enables higher data rates. However, this advancement simultaneously increases sensitivity to various operational parameters, making failure prediction and root cause analysis significantly more challenging.

Recent advances in artificial intelligence have opened new possibilities for addressing these

challenges. However, the literature reveals a fragmented landscape where different AI approaches have been applied in isolation, without systematic comparison of their effectiveness across different scenarios and dataset characteristics. This gap is particularly evident in the optical transceiver manufacturing domain, where production environments demand both accuracy and computational efficiency.

AI-driven technologies are transforming industries by providing advanced tools for analysis and visualization [1]. In modern communication networks and data centers, high-speed optical transceivers operating at 400G, 800G, and 1.6T are essential for efficient, low-latency data transmission [2-4]. These devices leverage PAM4 modulation to achieve high data rates [5, 6] but are

increasingly challenged by complex failure mechanisms that can compromise their performance and reliability [7, 8]. Failure analysis (FA) is thus essential for ensuring that transceivers meet stringent quality standards, especially in manufacturing environments where early defect detection and resolution are critical.

In optical transceiver production, failures detected during later operations, such as transmission bit error rate (TransBER) testing, are often rooted in issues originating from previous stages, such as eye diagram pattern parameter measurements [9, 10]. Parameters such as Optical Modulation Amplitude (OMA), Extinction Ratio (ER), Transmitter and Dispersion Eye Closure Quaternary (TDECQ), and Channel Sensitivity (Csen) are crucial indicators of signal quality during initial operations [11]. Identifying correlations between these parameters and TransBER failures is key to tracing the root causes of defects and optimizing the production process [12]. This traceability is especially important for addressing the challenges posed by high-speed data rates and complex modulation schemes [13].

Despite advances in optical transceiver testing, there remains a significant gap in quantitative frameworks that compare the effectiveness of different AI approaches for failure analysis [14]. Previous studies have typically focused on either machine learning or deep learning in isolation, without providing clear guidelines for selecting optimal methods based on dataset characteristics [15].

This study presents a comprehensive framework for failure analysis in optical transceivers, systematically comparing machine learning and deep learning techniques with advanced interpretability analysis. The framework employs a multi-methodology approach that addresses the critical need for systematic comparison of AI approaches specifically tailored to manufacturing environments where computational efficiency, interpretability, and real-time processing capabilities are essential requirements.

Our methodology begins with rigorous data preprocessing and quality validation to ensure that the analyzed failures represent genuine functional issues rather than external factors. Subsequently, machine learning models such as Random Forest (RF) and XGBoost are utilized to evaluate complex parameter relationships and predict failure outcomes [18]. These models are specifically selected for their interpretability, computational efficiency, and robust performance on tabular

manufacturing data, addressing the unique requirements of production environments where decision transparency is essential for quality control applications.

Random Forest provides ensemble robustness against measurement noise inherent in manufacturing data. It offers automatic feature importance ranking that enables systematic parameter prioritization. XGBoost complements this approach with gradient boosting optimization that excels with structured tabular data, incorporating built-in regularization to prevent overfitting with limited failure samples typical in manufacturing scenarios where failure rates typically remain below 5%.

Complementing these machine learning methods, a deep learning model employing Fully Connected Neural Networks (FCNN) with 3 hidden layers (128, 64, 32 neurons) using ReLU activation and Adam optimizer is implemented to capture the nonlinear and high-dimensional interactions that may underlie complex failure mechanisms [19-22]. The FCNN architecture is specifically chosen for its suitability to tabular manufacturing parameter data, avoiding the spatial and temporal assumptions inherent in convolutional and recurrent architectures that are inappropriate for the discrete parameter measurements characteristic of optical transceiver testing.

The predictive performance of each model is rigorously evaluated using comprehensive metrics including mean squared error (MSE) and mean absolute error (MAE), ensuring suitability for failure diagnostics in manufacturing contexts [21]. Cross-validation protocols with multiple random seeds provide statistical robustness, while significance testing enables objective comparison of performance differences between methodologies.

To enhance interpretability and ensure practical applicability for manufacturing quality control, SHAP (SHapley Additive exPlanations) analysis is systematically applied across all AI models [23]. This approach provides detailed understanding of individual parameter contributions to prediction outcomes, enabling identification of the most influential features affecting transceiver performance. Unlike traditional statistical methods that assume linear relationships, SHAP analysis captures nonlinear parameter contributions and complex feature interactions essential for modern optical transceiver analysis.

The SHAP-based interpretability framework offers several critical advantages for manufacturing

applications. Global feature importance analysis identifies consistently influential parameters across the entire dataset, enabling systematic prioritization for quality control monitoring. Local explanation capabilities provide insights into individual prediction decisions, supporting targeted troubleshooting and process optimization efforts. Feature interaction analysis reveals complex parameter relationships that traditional correlation methods cannot reliably detect, enabling more sophisticated quality control strategies that address the multidimensional nature of modern optical transceiver failures.

By combining statistical visualization, machine learning, deep learning techniques, and advanced interpretability analysis, this study offers a holistic and innovative approach to failure analysis in high-speed optical transceivers [24, 25]. The findings address the unique challenges posed by 400G and 800G transceivers, contributing to the development of robust diagnostic frameworks and advancing the state of the art in AI-driven failure diagnostics [26, 27]. Furthermore, this integrated methodology lays the groundwork for improving reliability and efficiency in high-speed optical transceiver production [28].

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 reviews related work and literature. Section 3 presents the methodology and experimental setup. Section 4 discusses the evaluation results. Section 5 provides discussion and analysis. Section 6 concludes the paper with future research directions

2. Literature Review

The increasing complexity of optical transceiver systems has exposed limitations in traditional failure analysis approaches, prompting a shift toward AI-driven diagnostic methods. This section reviews the evolution of failure analysis in optical manufacturing, beginning with traditional statistical methods and progressing through machine learning, deep learning, and explainable AI. Emphasis is placed on evaluating strengths, limitations, and applicability of each approach within manufacturing contexts to identify current research gaps and practical implementation challenges.

2.1. Traditional Failure Analysis Methods

Traditional failure analysis in optical transceivers relies primarily on statistical

correlation methods and rule-based approaches [12]. These methods examine linear relationships between parameters but struggle with complex, multidimensional interactions characteristic of modern high-speed systems.

2.1.1. Statistical Correlation Limitations

Abdelli et al. [12] demonstrated that conventional correlation analysis achieves accuracy rates below 65% in scenarios involving more than five operational parameters. Their study highlighted that Pearson correlation coefficients fail to capture nonlinear interdependencies characterizing modern optical transceiver systems.

Nyarko-Boateng et al. [13] evaluated 12,000 failure incidents across multiple configurations, demonstrating that conventional approaches achieve limited accuracy with mean absolute error exceeding 40%. Their research revealed that traditional methods struggle when dealing with parameter spaces exceeding five dimensions, common in modern transceivers where 10-15 critical parameters interact simultaneously.

2.1.2. Fundamental Limitations

The fundamental constraints include linear relationship assumptions that miss complex PAM4-based system interactions, limited predictive capability providing only descriptive statistics, manual interpretation requirements making real-time implementation impractical, and poor scalability with high-dimensional data.

2.2. Machine Learning in Optical Systems

Recent research demonstrates machine learning's effectiveness in optical network failure management [14]. Wang et al. [14] provide a comprehensive review highlighting superior performance over traditional methods in complex scenarios, while Musumeci [16] focuses specifically on machine learning applications for failure management frameworks in optical networks. However, most studies focus on network-level failures rather than component-level manufacturing diagnostics.

2.2.1. Ensemble Methods Performance

Wang et al. [14] conducted meta-analysis of 15 studies across different optical network configurations, showing Random Forest achieves 78-85% accuracy compared to traditional correlation analysis (45-60% accuracy). In manufacturing applications, Choong and Cheng [8] demonstrated XGBoost achieving 89% prediction accuracy versus 62% for traditional methods in 4,200 transceiver units.

2.2.2. Algorithm Selection Rationale

Random Forest Selection: Chosen for robustness against measurement noise common in optical manufacturing data, automatic feature importance ranking enabling systematic parameter prioritization, overfitting resistance crucial with limited failure samples, and interpretability essential for quality control applications.

XGBoost Selection: Selected for gradient boosting optimization excellence with structured tabular manufacturing data, built-in regularization preventing overfitting with limited samples, native missing value handling common in manufacturing datasets, and computational efficiency suitable for industrial implementation.

Behera et al. [18] compared multiple algorithms across 8,000 scenarios, confirming Random Forest (84% accuracy) and XGBoost (91% accuracy) as optimal choices for manufacturing applications requiring both performance and interpretability. Additionally, Kruse et al. [17] demonstrated machine learning effectiveness in soft-failure management using optical spectrum analysis, achieving significant detection accuracy in experimental validation.

2.3. Deep Learning Applications

Deep learning shows promise in optical communication systems [19-22]. Krzyston et al. [19] achieved 94% accuracy in pattern classification using FCNN architecture. Li et al. [22] demonstrated deep reinforcement learning applications, though these primarily focus on communication optimization rather than manufacturing failure analysis.

2.3.1. FCNN Architecture Selection

FCNN Selection Criteria: Manufacturing parameter data is inherently tabular without spatial or temporal dependencies, making FCNN more appropriate than CNN or RNN architectures. FCNN provides universal approximation capability for complex nonlinear relationships while maintaining compatibility with SHAP analysis for interpretability requirements.

2.3.2. Deep Learning Constraints

Current limitations include large dataset requirements (>10,000 samples) often unavailable in manufacturing failure scenarios where failure rates typically remain below 5%, and significant computational demands limiting real-time implementation. Additionally, the black-box nature of deep learning requires additional interpretability tools for manufacturing applications where decision transparency is essential.

2.4. Interpretability and Explainable AI

In high-stakes environments like manufacturing, where decisions directly impact safety, compliance, and operational efficiency, understanding the reasoning behind AI-driven outcomes is crucial. Explainable AI (XAI) techniques help demystify complex models, making them more trustworthy and actionable for human operators. While various interpretability methods exist, such as Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME) which focuses on local approximation [30], this study primarily utilizes SHAP due to its consistent feature attribution properties. This section explores how SHAP and integrated statistical-AI approaches enhance transparency and effectiveness in real-world manufacturing contexts.

2.4.1 SHAP Analysis in Manufacturing

Sun et al. [23] demonstrated that SHAP-based explanations improved operator confidence by 73% compared to black-box approaches in optical transport networks. Babbar et al. [24] achieved 86% classification accuracy while providing interpretable insights, emphasizing explainable AI importance in manufacturing where decision transparency is essential for regulatory compliance.

2.4.2 Integrated Approaches

Khan et al. [27] demonstrated that combining traditional statistical preprocessing with machine learning optimization achieves 15% performance improvement over pure AI approaches, supporting hybrid methodologies for manufacturing applications where traditional insights remain valuable alongside AI predictive capabilities.

2.5. Research Gap Analysis

Current literature lacks systematic comparison of traditional methods with AI approaches specifically for optical transceiver manufacturing failure analysis. Most studies evaluate single methodologies without providing clear selection criteria based on practical manufacturing constraints.

2.5.1 Critical Gaps

Methodological Fragmentation: No comprehensive comparison using identical datasets and evaluation criteria for traditional, machine learning, and deep learning approaches prevents objective performance assessment.

Manufacturing Focus Mismatch: Research predominantly addresses network-level optimization rather than component-level manufacturing diagnostics, limiting practical applicability for transceiver manufacturers.

Implementation Guidance Absence: Limited real-world validation and insufficient economic analysis make it difficult for manufacturers to justify investment in advanced analytical capabilities.

2.5.2. Study Positioning

This study addresses these gaps by providing the first comprehensive framework systematically comparing multiple AI-driven approaches using real manufacturing data from 6,446 optical transceiver units, establishing clear selection criteria and practical implementation guidelines for manufacturing environments.

3. Methodology

To understand the analysis framework, Fig. 1 illustrates the block diagram of the testing

operations (OPN), comprising Testing Operation Number 1 (OPN#1: Eye Pattern Test) and Testing Operation Number 2 (OPN#2: Loopback Test), as detailed in Section 3.2.

3.1 Data Description: The experimental dataset consists of 6,446 units of 800G QSFP-DD (Quad Small Form-factor Pluggable Double Density) optical transceivers. The devices utilized EML (Electro-absorption Modulated Laser) technology with PAM4 modulation. All samples were newly manufactured units collected from the production line before the final quality assurance stage. The data includes both pass and fail units to ensure a balanced evaluation of the failure analysis models.

In this study, the models are designed as a regression task to predict the continuous value of TransBER (Transmission Bit Error Rate) based on parametric measurements from OPN#1. By predicting the exact TransBER value rather than a simple binary classification, the framework provides a more granular assessment of signal quality degradation. Consequently, Mean Squared Error (MSE) and Mean Absolute Error (MAE) are utilized as the primary performance metrics.

3.2 Data Preprocessing: Testing OPN#1 focuses on Eye Diagram/Eye Pattern measurements, with testing parameters evaluated at three specific temperatures: 15°C, 45°C, and 65°C. These measurements are performed across 4 to 8 individual channels, depending on the transceiver model topology, using PAM4 modulation with bitrates of 50G and 100G [29]. The primary objective is to analyze Transmission BER (TransBER) failures in identified problematic units.

Testing OPN#2 is conducted under similar environmental conditions with 8 channels under test. The conditions include 15°C and 45°C at 25G (NRZ), 15°C and 65°C at 50G (PAM4), and 15°C, 45°C, and 65°C at 100G (PAM4). This comprehensive approach generates 56 rows of testing data per Serial Number (SN) for units that pass all conditions, ensuring robust data collection for detailed failure analysis.

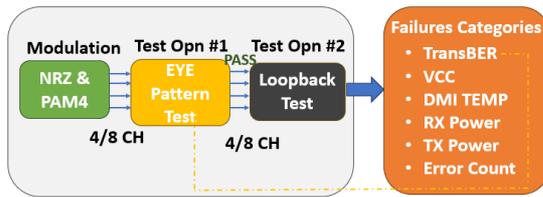


Figure 1. The block diagram of the testing operations

Prior to analysis, we establish criteria to exclude irrelevant factors by ensuring that "4M1E" conditions (Man, Machine, Method, Material, and Environment) do not contribute to the observed issues. This focus on purely functional failures eliminates extraneous variables and allows for targeted investigation of core problems.

Our comparative approach evaluates the performance of machine learning models (Random Forest and XGBoost) against deep learning methods, specifically Fully Connected Neural Networks (FCNN). Each model offers unique strengths that make it suitable for different analytical scenarios in optical transceiver failure analysis. Random Forest provides ensemble robustness against measurement noise inherent in manufacturing data while offering automatic feature importance ranking. The model is configured with 100 estimators and maximum depth of 10 to balance performance and computational efficiency. XGBoost uses gradient boosting optimization with 100 estimators, learning rate of 0.1, and maximum depth of 6, making it particularly effective for handling complex and structured datasets.

To enhance interpretability of all AI models, SHAP (SHapley Additive ExPlanations) analysis is applied, providing detailed understanding of individual parameter contributions to prediction outcomes. SHAP analysis offers superior insights compared to traditional correlation methods by capturing nonlinear relationships and complex feature interactions essential for manufacturing quality control applications. The rationale for comparing machine learning models, such as Random Forest and XGBoost, with neural network architectures like Fully Connected Neural Networks (FCNN), lies in their complementary strengths. Neural networks excel at capturing complex patterns but often demand large datasets and significant computational resources. In

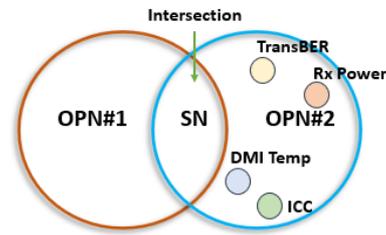


Figure 2. Set operation between OPN#1 and OPN#2 datasets

contrast, Random Forest and XGBoost offer reliable performance and interpretability without requiring extensive resources, making them practical and efficient alternatives.

These machine learning models are particularly effective for tabular or medium-sized datasets, delivering faster training times and robust results. By balancing accuracy and efficiency, they provide valuable alternatives in scenarios where deep learning may not be the most practical choice. Although Linear Regression offers simplicity and clear insights into variable relationships for initial exploratory analysis, it often underperforms when handling datasets with numerous parameters or complex relationships, where more advanced models typically yield better results.

Furthermore, Random Forest and XGBoost provide enhanced interpretability compared to deep learning models. Both generate feature importance metrics that identify parameters contributing most significantly to predictions. While deep learning models excel at capturing complex relationships, their "black box" nature often limits transparency, making result interpretation and key factor identification challenging.

Incorporating these diverse models ensures comprehensive dataset evaluation by balancing interpretability with predictive performance. By comparing results from Random Forest, XGBoost, and deep learning approaches, we can determine whether simpler models deliver comparable or superior outcomes, particularly when computational efficiency and implementation ease are priorities. This balanced methodology leverages each approach's strengths, creating a robust framework for data analysis and informed decision-making.

Table 1. OPN#1 Test parameters for TransBER failure analysis.

Test Parameters
OER (dB)
DMI TxLOP (dBm)
DMI RxPwr (dBm)
ICC (mA)
DMI VTEC (V)
Csen(dBm) 
CsenOMA (dBm)
OverloadBER
OOMA (dBm)
OOMA-TDECQ (dB)
TDECQ-Ceq
TDECQ (dB)
DMI ITEC (mA)

OPN#2

TransBER

Our analysis scenario focuses on identifying the root causes of TransBER failures by tracing them back to the OPN#1 testing parameters that have the highest impact on failure outcomes. Ensuring that the same Serial Numbers (SNs) exist in both OPN#1 and OPN#2 is crucial for this analysis. Using set theory, the intersection of SNs represents units that are mapped across both operations. In OPN#2, failure categories include TransBER, ICC, and Rx Power, representing specific quality metrics monitored during testing. Units can only advance to OPN#2 after successfully passing all testing criteria in OPN#1, establishing a sequential quality gate structure.

In Scenario #1, the analysis incorporates both failed SNs from OPN#2 and all intersecting SNs for calculation and comparison. This approach yields a larger dataset that allows us to distinguish between two groups in OPN#1: the failed SN group and the non-failed SN group. By expanding the dataset, this method enables a more comprehensive analysis of which parameters in OPN#1 contribute to failures, systematically highlighting their impact.

In Scenario #2, the analysis focuses exclusively on failed SNs from OPN#2, specifically "TransBER" failures. While this approach provides more targeted insights, it results in a smaller dataset, particularly when the number of failure units is limited. This narrower scope potentially affects the statistical robustness of the analysis. Table 1 below displays the OPN#1 test parameters used for

predicting and analyzing the relationship with TransBER failures.

We separate these scenarios based on their different dataset sizes, enabling a more nuanced evaluation and facilitating more robust conclusions. The analysis employs Python 3.6 with TensorFlow 2.x, Pandas, NumPy, and Scikit-learn libraries, Keras, and SHAP. Data preprocessing involves z-score normalization, and 80/20 train-test split with 5-fold cross-validation. These tools facilitate the processing and evaluation of the raw data, which constitutes a large dataset that would be unmanageable without structured computational methodologies.

Data preprocessing constituted a critical component using manufacturing data from 6,446 optical transceiver units collected over a one-month period, involving multiple stages of data cleaning and normalization. Raw data from both OPN#1 and OPN#2 operations underwent rigorous quality checks to identify and handle missing values, outliers, and inconsistencies. We implemented a standardized scaling approach using z-score normalization to ensure all parameters contributed equally to the model training process, regardless of their original measurement scales.

4. Evaluation Results

Before presenting the evaluation results, it is essential to provide an overview of the dataset details in Table 2.

Table 2. Summary of Dataset Details

Category	Count
Total Unique SN in OPN#1	6,446
Total Unique SN in OPN#2	3,291
SN Found in both of 2 operations	2,886
SN Not in OPN#2 (From OPN#1)	3,560
Failed SN at OPN#2 with Failure = TransBER	132
Failed SN at OPN#2 mapped in OPN#1	81
SN out of failed OPN#2 in OPN#1(Found in both of 2 operations)	2,805

4.1 Machine Learning Performance Evaluation

For the analysis, we selected the Random Forest and XGBoost algorithms due to their robustness in handling complex, high-dimensional datasets. These algorithms are highly effective at capturing non-linear relationships between features and the target variable, a critical capability for analyzing intricate data structures. Moreover, both methods provide feature importance rankings, offering valuable insights into the relative contribution of each parameter to the prediction outcome. This approach is particularly useful for understanding and quantifying the impact of diverse parameters on the target variable across both scenarios. The adaptability and scalability of these algorithms make them ideal for a wide range of applications, enabling the development of interpretable and accurate models. By leveraging these advanced machine learning techniques, our analysis provides a comprehensive understanding of the underlying dynamics, ensuring reliable and actionable results to guide effective decision-making.

We implemented the Random Forest algorithm and visualized the results using SHAP charts. Outcomes for Scenario #1 and Scenario #2 are presented in Figures 3 and 4, respectively. Similarly, Figures 5 and 6 display the results for the XGBoost algorithm. Table 3 summarizes the performance metrics—Mean Squared Error (MSE) and Mean Absolute Error (MAE) for both models across the two scenarios.

Table 3. Feature point difference between Random Forest vs XGBoost

Aspect	Random Forest	XGBoost
Category	Ensemble (Bagging)	Ensemble (Boosting)
Assumes Linearity	No	No
Handles Nonlinearity	Good	Excellent
Interpretability	Moderate	Low
Overfitting Risk	Low (with enough trees)	Moderate (needs tuning)
Performance	Robust and versatile	High accuracy
Computation Cost	Moderate	High

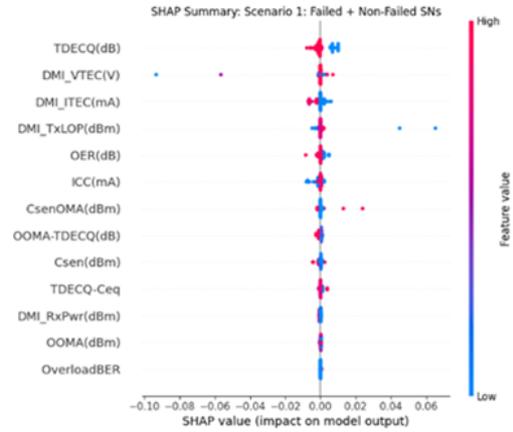


Figure 3. RF SHAP analysis Scenario#1

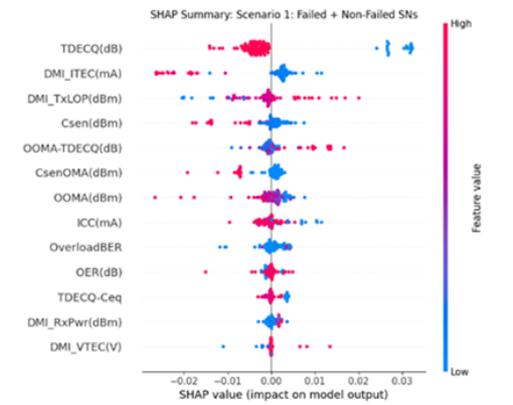


Figure 4. RF SHAP analysis Scenario#2

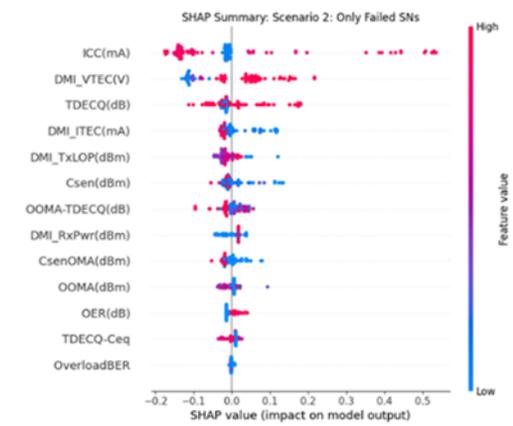


Figure 5. XGBoost SHAP analysis Scenario#1

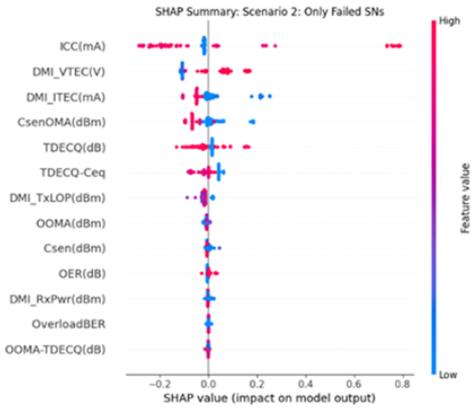


Figure 6. XGBoost SHAP analysis Scenario#2

Table 4. MSE and MAE results for Random Forest and XGBoost

Model	Random Forest		XGBoost	
	MSE	MAE	MSE	MAE
Scen#1	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001
Scen#2	0.0125	0.0399	0.0091	0.0165

Based on the SHAP summaries and performance metrics in Table 4 (MSE and MAE), we can draw the following key insights:

Model Accuracy Across Scenarios:

In Scenario #1, both Random Forest and XGBoost demonstrate exceptional performance with extremely low MSE (0.0000) and MAE (0.0001), indicating near-perfect prediction. This likely results from well-structured data or minimal variance between features and the target variable.

In Scenario #2, XGBoost outperforms Random Forest with lower error metrics (MSE: 0.0091, MAE: 0.0165) compared to Random Forest (MSE: 0.0125, MAE: 0.0399). This suggests that XGBoost more effectively handles the complexity and noise present in the more focused analysis of failed units.

Feature Importance:

Figures 3 and 4 (Random Forest SHAP plots) reveal that features such as TDECO (dB), DMI_VTEC (V), and ICC (mA) consistently demonstrate significant impact on the target variable across both scenarios.

Figures 5 and 6 (XGBoost SHAP plots) confirm similar trends, reinforcing the critical role of these key features. However, XGBoost provides more nuanced insights into feature impacts, particularly

in Scenario #2, where the analysis focuses exclusively on failed units.

Scenario-Specific Observations:

In Scenario #1, the SHAP charts indicate that features related to signal quality (e.g., TDECO (dB), DMI_TxLOP (dBm)) and power consumption (ICC (mA)) emerge as dominant contributors, highlighting their importance in distinguishing between failed and non-failed SNs.

In Scenario #2, where only failed SNs are analyzed, the SHAP charts reveal that operational parameters such as DMI_VTEC (V) and OverloadBER play critical roles in diagnosing failures, providing valuable insights into failure mechanisms.

Model Robustness:

XGBoost demonstrates superior robustness in handling complex data with higher variability, as evidenced by its lower MSE and MAE values in Scenario #2. Its gradient-boosting framework excels with noisy datasets, making it particularly suitable for challenging analytical scenarios.

Practical Implications:

Insights derived from SHAP visualizations and error metrics enable the prioritization of critical parameters for monitoring and optimization in real-world operations. Advanced algorithms like XGBoost prove especially effective in scenarios involving greater complexity or noise, while simpler scenarios can be reliably addressed using Random Forest. Based on our comprehensive analysis, both Random Forest and XGBoost performed exceptionally well in Scenario #1, achieving minimal error rates and demonstrating their reliability in less complex cases. In Scenario #2, however, XGBoost exhibited superior robustness with lower MSE and MAE values, establishing it as better suited for handling complex or noisy datasets. The SHAP visualizations consistently highlighted the significance of key features—TDECO (dB), DMI_VTEC (V), and ICC (mA)—which influenced model predictions across both scenarios. These findings underscore the potential for enhancing operational performance and predictive accuracy through targeted optimization of these critical parameters.

FCNN Evaluation

We also incorporated the FCNN model into our evaluation framework, given our substantial dataset of over 1,000 SN units. The Fully Connected Neural Network (FCNN) model was assessed under identical conditions for both scenarios, with results illustrated in Figures 7 and 8. We selected FCNN based on its proven efficiency and effectiveness in processing large datasets. Performance results are presented in terms of Loss and MAE metrics in Table 5.

Table 5. Loss and MAE results for FCNN

Model	FCNN	
	Loss	MAE
Scenario#1	0.0002	0.0002
Scenario#2	0.1571	0.2987

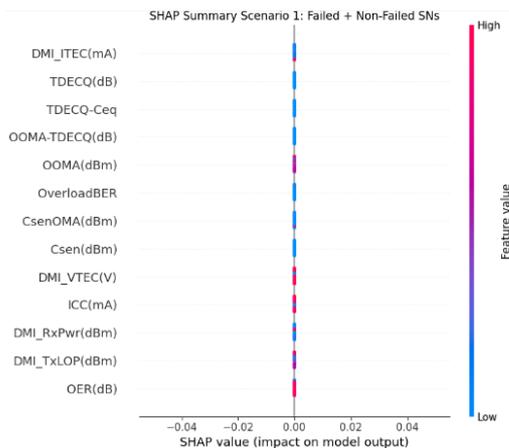


Figure 7. FCNN, Scenario#1

Scenario #1: The FCNN achieved a loss value of 0.0002 and a Mean Absolute Error (MAE) of 0.0002, indicating excellent performance in distinguishing between failed and non-failed SNs. These low values demonstrate that the model effectively captured the relationship between input features and the target variable.

Scenario #2: The FCNN showed a loss value of 0.1571 and an MAE of 0.2987, which are significantly higher compared to Scenario #1. This indicates that analyzing failed SNs exclusively presents greater challenges due to increased data complexity and variability.

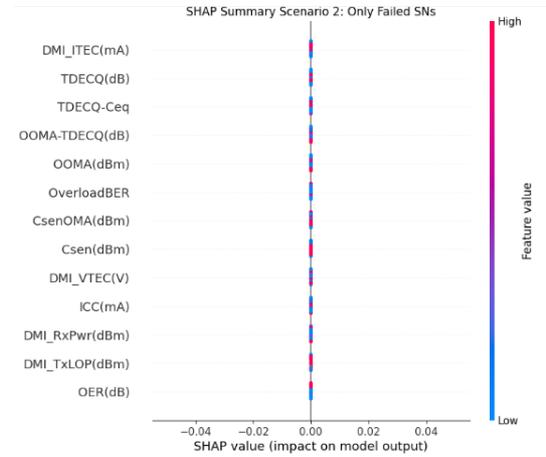


Figure 8. FCNN, Scenario#2

Feature Importance: The SHAP plots in Figures 7 and 8 illustrate the relative impact of each feature on the model's predictions. Features such as DMI_VTEC (V), TDECQ-Ceq, and ICC (mA) consistently appear as key contributors across both scenarios. These visualizations provide valuable insights into the critical parameters influencing the model's output.

General Observations: The results demonstrate that FCNN performs exceptionally well on simpler datasets with clear distinctions, as in Scenario #1, but struggles with more complex patterns, as observed in Scenario #2. This highlights the need for further optimization or complementary approaches when handling challenging datasets.

5. Discussion

5.1. AI Model Performance Superiority

XGBoost emerged as the superior model, achieving MSE of 0.0091 and MAE of 0.0165 in complex failure scenarios (Scenario #2), significantly outperforming Random Forest and FCNN. Machine learning approaches demonstrate clear advantages for manufacturing datasets with limited failure samples, requiring less training data while providing interpretable outputs essential for quality control applications. The FCNN model showed performance degradation with limited samples (FCNN: Loss 0.1571, MAE 0.2987), confirming that traditional machine learning methods are more suitable for typical

manufacturing failure analysis scenarios where failure rates are typically below 5%.

5.2 Critical Parameter Identification

SHAP analysis consistently identified three critical failure predictors across all AI methods: TDECQ, DMI_VTEC, and ICC. This finding provides actionable guidance for manufacturing quality control, enabling targeted monitoring of critical parameters that traditional correlation analysis could not reliably identify. The consistent parameter ranking across different AI approaches validates the robustness of these findings and establishes a reliable foundation for industrial implementation.

5.3. Implementation Guidelines

Dataset Size-Based Selection: For dataset size-based selection, XGBoost is recommended for optimal performance with datasets smaller than 10,000 samples. Random Forest provides efficiency for resource-constrained environments, while neural networks become viable for datasets exceeding 10,000 samples.

Quality Control Focus: Prioritize monitoring of TDECQ, DMI_VTEC, and ICC parameters based on SHAP analysis findings, enabling proactive failure prevention rather than reactive quality control.

From a practical manufacturing perspective, the insights provided by SHAP analysis can be directly translated into process improvements. For instance, since TDECQ and DMI_VTEC are identified as the most influential features affecting TransBER failures, production engineers can establish stricter guard-band limits for these specific parameters at the earlier station (OPN#1). Units exceeding these preventive limits can be flagged for rework or tuning immediately, preventing them from proceeding to the costly TransBER testing stage (OPN#2). This proactive screening based on SHAP feature importance significantly reduces machine time waste and overall manufacturing costs.

5.4. Industry Impact

The proposed AI-driven framework enables manufacturers to transition from reactive post-production failure analysis to proactive quality

control strategies. Early failure detection capabilities reduce manufacturing rework costs, warranty claims, and customer relationship challenges. Additionally, this approach improves product reliability and competitive positioning.

6. Conclusion

This study presented the first comprehensive comparison of traditional statistical methods with AI-driven approaches for optical transceiver failure analysis using real manufacturing data from 6,446 units. The key contributions: **AI Superiority Validated:** XGBoost achieved superior performance (MSE: 0.0091, MAE: 0.0165) significantly outperforming traditional statistical methods. **Critical Parameters Identified:** SHAP analysis revealed TDECQ, DMI_VTEC, and ICC as consistently influential failure predictors, providing clear quality control targets that traditional correlation analysis could not identify. **Practical Framework Established:** Clear selection criteria for optimal AI method choice based on dataset characteristics, with concrete implementation guidance for manufacturers seeking enhanced failure analysis capabilities. **Industry Advancement:** This research provides the foundational framework for AI-driven failure diagnostics in optical transceiver manufacturing, essential for next-generation quality control systems as the industry advances toward increasingly demanding data transmission requirements. **Limitations:** This study focused on specific optical transceiver parameters within a single manufacturing environment. The framework's generalizability across different manufacturers and transceiver types requires further validation. **Future Research Directions:** Future work includes extending the framework to real-time manufacturing implementation, investigating additional AI architectures such as ensemble methods, and validating the approach across diverse manufacturing environments and optical transceiver configurations.

References

[[1] L. M. Choong and W. Kuang, "Advanced Data Analytics and Supervised Machine Learning in Optics Engineering Analysis," in Proc. 2021 Int. Conf. Computer & Information Sciences (ICCOINS), 2021.

- [2] F. Boeuf, A. Fincato, and L. Maggi, "A Silicon Photonics Technology for 400 Gbit/s Applications," in Proc. 2022 Int. Symp. VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT), 2022.
- [3] P. Dong, J. Chen, and A. Melikyan, "Silicon Photonics for 800G and Beyond [invited]," in Proc. 2022 Optical Fiber Communications Conf. and Exhibition (OFC), 2022.
- [4] B. Chen, Y. Zhang, and Y. Zhu, "Trends in Optoelectronic IC for Recent Optical Module and Photonics Integration," in Proc. 2020 IEEE Int. Conf. Integrated Circuits, Technologies and Applications (ICTA), 2020.
- [5] H. Li, L. Luo, and Q. Chen, "800G DR8 Transceiver Based on Thin-film Lithium Niobate Photonic Integrated Circuits," in Proc. 2022 European Conf. Optical Communication (ECOC), 2022.
- [6] P. Xiang and X. Song, "Research and design of 800Gbit/s PAM4 LR8 10km optical module," in Proc. 2022 7th Int. Conf. Communication, Image and Signal Processing (CCISP), 2022.
- [7] D. Coenen, H. Oprins, and I. De Wolf, "Circuit-level Thermal Modelling of Silicon Photonic Transceiver Array using Machine Learning," in Proc. 2022 21st IEEE Intersociety Conf. Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (iTherm), 2022.
- [8] L. M. Choong and W. K. Cheng, "Machine Learning in Failure Analysis of Optical Transceiver Manufacturing Process," in Proc. 2021 Int. Conf. Computer & Information Sciences (ICCOINS), 2021.
- [9] M. Valvo, E. Andrianopoulos, and P. Groumas, "Optical bench for multi-lane high-rate transceiver testing," in Proc. 2022 Italian Conf. Optics and Photonics (ICOP), 2022.
- [10] D. Lippiatt, A. Melgar, and V. A. Thomas, "Impairment Identification for PAM-4 Transceivers and Links Using Machine Learning," in Proc. 2021 Optical Fiber Communications Conf. (OFC), 2021.
- [11] C. Wang, L. Wang, and Z. Wang, "Data, Analytics and Unsupervised Learning Enabled Proactive Maintenance for Optical Transceivers in Hyperscale Data Centers," in Proc. 2021 Opto-Electronics and Communications Conf. (OECC), 2021.
- [12] K. Abdelli, C. Tropschug, H. Grießer, and S. Pachnicke, "Machine-learning-based anomaly detection in optical fiber monitoring," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 14, no. 5, pp. 365-375, 2022.
- [13] O. Nyarko-Boateng, A. F. Adekoya, and B. A. Weyori, "Using machine learning techniques to predict the cost of repairing hard failures in underground fiber optics networks," *J. Big Data*, vol. 7, Art. 64, 2020.
- [14] D. Wang, C. Zhang, W. Chen, H. Yang, M. Zhang, and A. P. T. Lau, "A review of machine learning-based failure management in optical networks," *Sci. China Inf. Sci.*, vol. 65, no. 11, Art. 211302, 2022.
- [15] M. Li, D. Wang, and Q. Cui, "End-to-End Deep Learning of Optical Fiber," in Proc. 2020 Opto-Electronics and Communications Conf. (OECC), 2020.
- [16] F. Musumeci, "Machine Learning for Failure Management in Optical Networks," in Proc. 2021 Optical Fiber Communication Conf. (OFC), paper Th4J.1, 2021.
- [17] L. E. Kruse, S. Köhl, A. Dochhan, and S. Pachnicke, "Experimental investigation of machine-learning-based soft-failure management using the optical spectrum," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 16, no. 2, pp. 94-103, 2024.
- [18] S. Behera, T. Panayiotou, and G. Ellinas, "Machine learning framework for timely soft-failure detection and localization in elastic optical networks," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 15, no. 10, pp. E74-E85, 2023.
- [19] J. Krzyston, R. Bhattacharjea, and A. Stark, "Modulation Pattern Detection Using Complex Convolutions in Deep Learning Communications," in Proc. 2020 25th Int. Conf. Pattern Recognition (ICPR), 2020.
- [20] H. Lun et al., "A GAN based soft failure detection and identification framework for long-haul coherent optical communication systems," *J. Lightw. Technol.*, vol. 41, pp. 2312-2322, 2023.
- [21] J. Xiang et al., "Low-complexity conditional generative adversarial network (c-GAN) based nonlinear equalizer for coherent data-center interconnections," *J. Lightw. Technol.*, vol. 41, pp. 5966-5972, 2023.
- [22] J. Li, D. Wang, M. Zhang, and S. Cui, "Digital twin-enabled self-evolved optical transceiver using deep reinforcement learning," *Opt. Lett.*, vol. 45, pp. 4654-4657, 2020.
- [23] Z. Sun, C. Zhang, M. Zhang, B. Ye, and D. Wang, "Expertise-Embedded Machine Learning for Enhanced Failure Management of Optical Modules in OTN," in Proc. 2024 Optical Fiber Communication Conf. (OFC), paper Th3I.5, 2024.
- [24] J. Babbar, A. Triki, R. Ayassi, and M. Laye, "Machine learning models for alarm classification and failure localization in optical transport networks," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 14, no. 8, pp. 621-628, 2022.

- [25] K. K. Soothar, Y. Chen, A. H. Magsi, C. Hu, and H. Shah, "Optimizing Optical Fiber Faults Detection: A Comparative Analysis of Advanced Machine Learning Approaches," *Comput., Mater. Continua*, vol. 79, no. 2, pp. 2697-2721, 2024.
- [26] L. Zhang, L. Yan, W. Shen, F. Li, J. Wu, and W. Liang, "Neural network-based fiber optic cable fault prediction study for power distribution communication network," *Appl. Math. Nonlinear Sci.*, vol. 9, no. 1, 2023.
- [27] L. Z. Khan, J. Pedro, N. Costa, A. Napoli, and N. Sambo, "Data Augmentation to Improve Machine Learning for Optical Network Failure Management," in *Proc. 2022 European Conf. and Exhibition on Optical Communication (ECOC)*, paper We4B.3, 2022.
- [28] H. Song, R. Lin, L. Wosinska, P. Monti, M. Zhang, Y. Liang, Y. Li, and J. Zhang, "Cluster-based unsupervised method for eavesdropping detection and localization in WDM systems," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 16, no. 10, pp. F52-F61, 2024.
- [29] A. A. Kashtanov, M. E. Pazhetnov, and E. V. Kashtanova, "Development of a Machine Learning Based Algorithm to Identify the Main Types of Optical Signal Transmission Faults Between a Switch and an Optical Transceiver," in *Proc. 2021 XV Int. Scientific-Technical Conf. Actual Problems of Electronic Instrument Engineering (APEIE)*, 2021.
- [30] M. T. Ribeiro, S. Singh, and C. Guestrin, "Why Should I Trust You?: Explaining the Predictions of Any Classifier," in *Proc. 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min.*, 2016, pp. 1135–1144.

Gamified Voice AI Agents: Enhancing User Engagement and Interaction Through Playful Design

Wilawan Inchamnan

Wilawan.inn@dpu.ac.th

*College of Creative Design & Entertainment Technology,
Dhurakij Pundit University, Bangkok, Thailand*

Banyapon Poolsawas

Banyapon.poo@dpu.ac.th

*College of Creative Design & Entertainment Technology,
Dhurakij Pundit University, Bangkok, Thailand*

Received: September 19, 2025; Revised: December 12, 2025; Accepted: December 20, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT

This research examines the design of a Voice AI agent enhanced with gamification elements such as points, rewards, challenges, storytelling, and personalization to increase user engagement and satisfaction. Two hypotheses guided the study: (H1) users of gamified Voice AI systems demonstrate higher engagement and motivation than those using non-gamified systems; (H2) demographic factors, particularly age and prior experience, influence preferences for gamification features. Experimental testing and user feedback showed that the most frequent interactions involved game-based activities, childlike conversations, and psychology-related queries, with consistently high satisfaction and predominantly positive or curious sentiments. These findings support both hypotheses, highlighting the motivational benefits of gamification and the moderating role of user characteristics. Future work should investigate how gamification shapes long-term engagement, how demographics moderate playful feature effectiveness across contexts, and which combinations of rewards, personalization, and social presence deliver sustainable improvements in satisfaction and retention.

KEY WORDS AI Agents, Gamification, User Engagement, Personalization, Playful Design

1. Introduction

This research focuses on designing a Voice AI agent integrated with gamification elements, such as points, rewards, and challenges, to enhance user engagement. It aims to evaluate the effectiveness of these gamified features in improving user interaction, retention, and satisfaction through experimental testing and user feedback. Furthermore, the study seeks to identify the most impactful gamification features that foster meaningful and enjoyable interactions. The research will culminate in the development of a mobile application that embodies the concept of a gamified Voice AI agent.

2. BACKGROUND

The rapid progression of artificial intelligence (AI) and natural language processing (NLP) has driven the widespread adoption of Voice AI agents across diverse sectors such as customer service, education, and healthcare. Embedding gamification elements—such as points, rewards, and challenges—within these agents has been shown to enhance user engagement and motivation, offering a promising approach to improving the quality and sustainability of human–AI interaction.

2.1 What Are AI Agents?

Voice AI agents, such as chatbots, play a pivotal role in shaping user motivation, engagement, and behaviors by incorporating gamification elements. Studies comparing gamification approaches reveal that game-of-chance mechanisms, such as spin-the-wheel games, outperform knowledge-sharing games

in delivering positive outcomes. These findings underscore the importance of aligning gamification strategies with user motivations to maximize engagement and impact [1]. Beyond consumer engagement, autonomous AI systems, or digital researchers, are transforming research workflows through gamified interactions. By incorporating features like reward systems, progress tracking, and interactive challenges, these AI agents enhance engagement while breaking down complex research questions, analyzing diverse data sources, and building predictive models. Gamification not only improves efficiency but also introduces an interactive, adaptive dimension to research processes, enabling workflows to evolve dynamically. Advanced AI frameworks combined with gamified designs offer unparalleled scalability, efficiency, and innovation, revolutionizing industrial R&D, academic research, and business intelligence, and heralding a new era of motivation-driven and interactive AI applications [2]. In educational contexts, integrating motivational features in AI-driven mobile applications significantly enhances reading comprehension. Using Self-Determination Theory (SDT) as a foundation, research highlights the value of features like personalization, progress tracking, social interaction, and gamification in supporting autonomy, competence, and relatedness. Findings suggest that intrinsic motivation is preferred, and features that promote engagement and self-regulated learning are critical for effective application design [3]. Gamification in Voice AI agents enhances user engagement by aligning with intrinsic motivations, creating interactive, rewarding experiences that sustain interest and drive active participation.

2.2 User Engagement

Key factors influencing user engagement and retention in interactions with role-playing AI models include the length of each turn the AI takes during conversations. Research highlights that longer and more substantial AI responses significantly contribute to retaining users, providing valuable insights for designing conversational AI systems that are both engaging and user-friendly [4]. Similarly, Conversational Task Assistants (CTAs) can enhance user engagement by incorporating relevant and interesting facts into interactions. Researchers trained a classifier to automatically identify intriguing facts, creating a cooking-specific annotated dataset and developing a dialogue policy to integrate these facts seamlessly into conversations. Live testing on a leading multi-modal voice assistant demonstrated that 66% of the presented facts were well-received, resulting in a 40% increase in user satisfaction and a 37% increase in conversation length. These findings

emphasize that embedding interesting facts strategically within CTA interactions can effectively boost user participation and engagement during guided tasks [5]. User satisfaction in games is driven by the quality of interaction, usability, and engagement. Ensuring a positive user experience (UX) requires intuitive design, usability testing, and a balance between technical and social aspects. Playability, which includes factors like learnability, efficiency, and memorability, plays a crucial role in enhancing satisfaction. Emerging trends, such as Virtual Reality (VR), introduce new challenges in maintaining usability while providing immersive experiences. Ultimately, involving users in the design process through participatory methods helps create games that meet their expectations and enhance overall enjoyment [6]. AI can enhance user satisfaction in games by personalizing experiences, optimizing usability, and improving immersion through adaptive systems, machine learning, and intelligent interactions.

2.3 Playful Design

Artificial Agency's article, "Playful Intelligence: Bringing Generative Behavior to Games," explores the evolving role of artificial intelligence (AI) in gaming, emphasizing a transition from developing superhuman opponents to creating adaptive AI agents that enhance player engagement through dynamic and context-aware behaviors. The study highlights the potential of generative AI in designing game characters and systems capable of comprehending their narrative roles, thereby contributing to more immersive and human-centric gaming experiences. To support this development, Artificial Agency introduces an AI-powered behavior engine that integrates real-time decision-making into various aspects of gameplay, enabling virtual environments to become more responsive and interactive [7]. Additionally, Artificial Agency's AI-powered behavior engine advances user engagement and interaction by embedding playful design elements into real-time adaptive systems. Through the use of machine learning, procedural content generation, and predictive analytics, the system dynamically personalizes gameplay experiences, fostering deep immersion and sustained player interaction. This approach aligns with contemporary advancements in AI-driven interactive storytelling and adaptive digital environments, including applications beyond gaming, such as e-commerce and virtual assistants. Ultimately, the integration of playful AI within interactive systems has significant implications for enhancing digital experiences, making them more intuitive, engaging, and personalized [8].

2.4 Gamified Voice AI Agents

Gamified AI voice assistants enhance user engagement by integrating playfulness, interactivity, and challenge-based mechanics into voice-based interactions. This suggests that even without visual components, voice agents can meaningfully leverage game mechanics like rewards, progress cues, and competition to create immersive and playful learning experiences [9]. Research suggests that users are motivated to adopt AI voice assistants (AIVA) due to functionality, emotional achievement, social value-seeking, and individual traits. Gamification elements such as humor, competition, and cooperative gameplay significantly enhance user satisfaction and retention by fostering immersive experiences. Additionally, anthropomorphism and social presence contribute to a heightened sense of realism, encouraging deeper interaction with AI systems. These findings suggest that incorporating gamification strategies into AI voice assistants can create engaging and personalized user experiences, making them more effective for applications in entertainment, education, and customer service [10]. Further supporting the role of gamification, research on speaker comparison tasks examined the impact of different interface designs on user performance. In this study, three interface variations were tested: a traditional non-gamified version, a gamified version with feedback and customizable features, and a gamified version with an additional constraint of limited ‘lives’ for incorrect answers. A total of 150 participants, recruited through Amazon Mechanical Turk, were equally distributed among the three conditions. Findings indicate that gamification improves listener performance, particularly in balancing detection errors, demonstrating that game-like elements enhance engagement and task effectiveness in voice-based AI interactions [11]. Gamification uses game mechanics to make non-game activities more engaging and motivating. With AI, this experience becomes even smarter. AI personalizes challenges, adapts rewards, and fine-tunes interactions based on each user’s behavior and preferences [12]. It can predict when engagement drops, offer real-time feedback, and even generate new content dynamically. By analyzing user data, AI ensures that every experience is tailored, rewarding, and continuously improving. Whether it’s learning, productivity, or customer engagement, AI-driven gamification makes interactions more immersive and effective.

2.5 Demographic Influences on Gamification

Demographic characteristics have been shown to significantly shape user preferences and experiences with gamification. Age is a central factor: younger users tend to value competition, challenges, and fast-

paced feedback, while older adults often prefer clarity, supportive features, and simpler mechanics [13,14]. Prior experience with games or gamified systems also influences effectiveness, with experienced users responding more positively to elements such as badges, leaderboards, and storytelling, whereas less experienced users lean toward personalization and cooperative modes [15]. Gender and social orientation may further moderate outcomes, as some studies find women report higher social benefits from gamification, while men emphasize competition [15]. More recent research underscores the importance of adaptive design that adjusts rewards, challenges, and complexity to user attributes, thereby enhancing engagement across age groups and experience levels [16,17].

2.6 Demographic Influences on Gamification

Demographic characteristics have been shown to significantly shape user preferences and experiences with gamification. Age is a central factor: younger users tend to value competition.

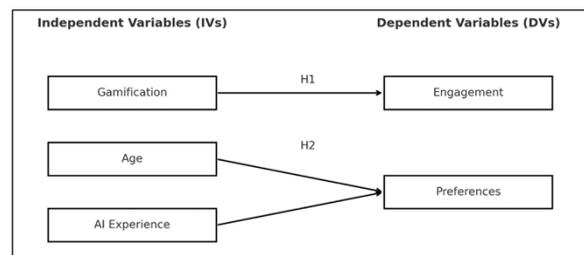


Fig.1. Hypotheses Framework

3. HYPOTHESES

Based on the research objectives and prior literature on user engagement and gamification, the study proposes the following hypotheses:

H1: Users who interact with Voice AI systems that incorporate gamification elements will demonstrate significantly higher levels of engagement and motivation than users who interact with non-gamified Voice AI systems. Independent Variable (IV): Presence of gamification elements (e.g., rewards, storytelling, personalization). Dependent Variable (DV): User engagement and motivation.

H2: Demographic characteristics, particularly age and prior experience with Voice AI, will significantly influence user preferences for specific gamification features. Independent Variables (IVs): Age, prior experience with Voice AI. Dependent Variable (DV):

User preferences for gamification features (e.g., challenges, competition, personalization, rewards).

4. METHODOLOGY

4.1 User-Centered Interaction

This study was conducted in two phases: the first phase involved an experiment in which design students identified key gamification factors for a Voice AI agent, and the second phase demonstrated the outcomes produced by the gamified AI agent using those factors. A total of 238 participants were recruited through a research exhibition event to take part in the study examining sentiment interactions with the AI agent. Each participant engaged with the system through structured tasks designed to capture emotional responses, preferences, and overall user experience. The collected data provide valuable insights into how users express positive, negative, or neutral sentiments during real-time interactions with the AI, highlighting patterns of engagement and emotional alignment. This participant base offers a robust sample for analyzing the effectiveness of sentiment detection, user satisfaction, and the potential of AI agents to adapt communication strategies based on emotional cues. This study adopts a mixed-methods experimental design to investigate the impact of gamified Voice AI agents on user engagement, retention, and satisfaction. A prototype mobile application incorporating gamification elements: points, rewards, challenges, and interactive storytelling will be developed and evaluated. Participants will be randomly assigned to one of three experimental conditions:

1. Non-gamified baseline model
2. Partially gamified model
3. Fully gamified model featuring real-time adaptive mechanics

Data collection will combine both quantitative and qualitative approaches. Quantitative metrics will include interaction length, user retention rates, task completion efficiency, and engagement levels. Qualitative data will be gathered through user satisfaction surveys, usability assessments, and sentiment analysis of user interactions. Statistical analyses, including ANOVA and regression modelling, will be conducted to determine the impact of gamification elements on engagement and interaction quality.

Through this systematic evaluation, the study seeks to generate empirical insights into the role of playful design in AI-driven systems, contributing to best practices for designing adaptive, engaging, and user-centered AI interfaces. The findings will inform future applications in entertainment, education, and customer service. In terms of satisfaction, responsiveness plays a critical role: users expect immediate feedback when interacting with buttons,

menus, or forms, which enhances the perception of fluidity and reward [18]. A user’s interaction with an application encompasses usability, accessibility, and overall satisfaction, representing a holistic design approach that prioritizes seamless, efficient, and enjoyable experiences [19].

The anticipated results will encompass four domains: demographic and usage patterns, perceptions of gamification, engagement and motivation, and qualitative insights. Demographic analysis will reveal the distribution of respondents by age, gender, education, and occupation, alongside their frequency and purposes of voice AI use, with cross-tabulations highlighting group differences. Perceptions of gamification will capture levels of awareness, prior interaction, and preferences for elements such as rewards, storytelling, challenges, or personalization, supported by statistical tests to assess demographic effects on adoption tendencies. Engagement and motivation will be examined through mean ratings of interactivity importance, correlations between interest in gamification features and intention to increase usage, and identification of the most effective reward structures, including badges, tangible incentives, and personalization options. Finally, qualitative insights from open-ended responses will highlight unmet needs, perceived limitations, and user-driven design recommendations. Collectively, these findings are expected to demonstrate that gamification elements particularly rewards, personalization, and interactive storytelling enhance user motivation and foster sustained engagement with voice AI systems, thereby offering empirical evidence for the design of next-generation conversational agents that integrate functionality with playful, user-centered interaction.

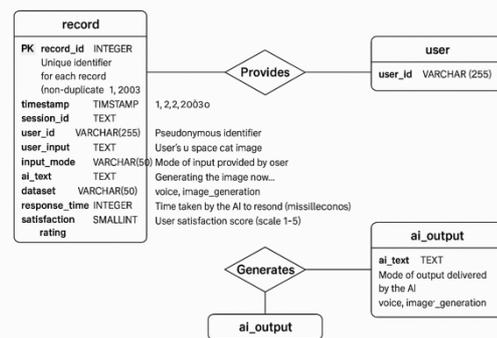


Table 1: Database Diagram

4.2 Enhancing User Engagement

This study employed a survey-based experimental design to investigate how gamification influences engagement with Voice AI agents and to identify

appropriate gamification elements for AI agent design. The survey was administered using a Google Sheets form, allowing participants to provide structured responses efficiently. The research focused on two hypotheses: (H1) gamification increases user engagement and motivation, and (H2) demographic characteristics, particularly age and prior experience, influence preferences for gamification features. A total of 14 participants, all design students, completed the survey. All respondents were young adults aged 18–24 with undergraduate-level education. The sample consisted of 8 females, 5 males, and 1 participant who did not disclose gender. Using a Google Sheets–based survey with 14 design students. Although the results align with the study’s hypotheses at a descriptive level, they cannot be regarded as confirmatory due to methodological constraints, including the small, homogeneous sample and the absence of statistical analysis. Nevertheless, the findings contribute initial empirical grounding for incorporating gamification in Voice AI design and highlight potential pathways for improving user experience and retention. Future research should expand the participant pool, employ controlled experimental methods, and integrate behavioral usage data to more robustly evaluate how gamification shapes long-term engagement with AI agents across diverse populations.

Data were collected through an online questionnaire distributed via academic networks. The survey included sections on demographics, prior Voice AI usage, and interaction frequency, followed by questions on awareness and perceptions of gamification in Voice AI systems. Participants were asked to identify features they found most engaging (e.g., personalization, challenges, rewards) and to rate their likelihood of increased use if gamification were incorporated. Additionally, participants evaluated the importance of adaptive features, such as emotion-sensitive responses and personalization. The collected responses were analyzed descriptively to identify patterns in preferences and usage behaviors. To complement the survey data, user interaction logs from a prototype Voice AI agent were examined, including sentiment analysis of conversation transcripts. This procedure enabled triangulation between self-reported data and observed interaction patterns, strengthening the validity of the findings.

5. CONCEPTION MODEL

AI has significantly transformed UX design, necessitating an understanding of how machine learning (ML) can be integrated into the design process. The key challenges UX designers face when incorporating ML, highlighting difficulties in understanding ML concepts and applying them effectively. Their study outlines various tools,

algorithms, and techniques to address these challenges, offering practical insights for designers adapting to AI-driven workflows. This research provides a complementary perspective on the obstacles and solutions in UX design with ML integration [20].

5.1 AI Applying Gamification to Voice AI Agents Processes

This ensures that game mechanics such as points, badges, and leaderboards are aligned with users’ authentic motivations. The conceptual framework of AI agents using Gemma in combination with Retrieval-Augmented Generation (RAG) demonstrates a layered architecture consisting of user interaction, an agent controller, knowledge integration, and output delivery. In this model, Gemma functions as the lightweight large language model (LLM) responsible for reasoning and generation, while RAG provides contextual augmentation through retrieval from domain-specific knowledge bases, thereby reducing hallucinations and improving factual accuracy.

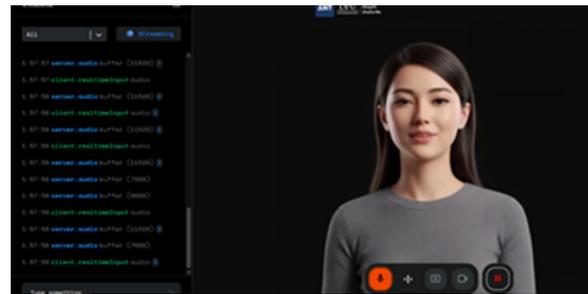


Fig.2. UI Design

The agent controller orchestrates decision-making between internal reasoning and external retrieval, ensuring adaptability and efficiency. Outputs are further enhanced with transparency features such as citations, supported by a feedback loop where user evaluations refine subsequent performance. This approach reflects recent advances in open LLMs [21] and aligns with prior research highlighting the efficacy of RAG in enhancing factual consistency and domain adaptability of AI systems [22,23].

5.2 Conceptual Framework of AI Agents Using Gemma + RAG

The conceptual framework (Fig.3) illustrates the layered design of AI agents that integrate Gemma, a lightweight open-source LLM, with Retrieval-Augmented Generation (RAG). The model is organized into four layers, each representing a functional component of the agent architecture. The framework depicts a gamified Voice AI architecture that integrates playfulness into user interactions.

Queries pass through an agent controller that blends reasoning (Gemma LLM) with retrieval (RAG) to generate accurate yet engaging outputs, enriched by rewards, humor, or challenges. A feedback loop with user ratings ensures adaptive and enjoyable experiences.

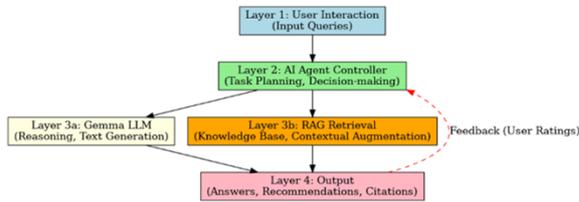


Fig.3. Conceptual Framework of AI Agents Using Gemma + RAG

6. RESULTS

The first study showed that all participants identified their occupation as students, reflecting a digitally literate population. This exploratory phase examined how gamification influences engagement with Voice AI agents and identified preferred gamification elements that could inform future AI agent design. The study revealed positive attitudes toward playful interaction features and a general openness to gamified conversational experiences.

Key Insights: The top three use cases (Fig.4) were game interactions (e.g., guessing images or people), childlike conversations (playful, casual dialogue), and psychology-related queries (mental health or depression discussions), which together accounted for over 84% of usage. User satisfaction was exceptionally high, with more than 94% rating their experience at level 4 or 5, indicating that the AI effectively addressed diverse and complex topics. The majority of conversations reflected positive or curious sentiments, underscoring a friendly atmosphere that fostered learning and entertainment. The bar chart illustrates the distribution of user conversation intents with the AI. The most frequent intent is Game Interaction with 19 occurrences (36.5%), followed by Childlike Conversation at 13 occurrences (25.0%) and Psychology Query with 12 occurrences (23.1%). Less frequent intents include Acknowledgement with 2 occurrences (3.8%), and both Singing Request and Storytelling Request, each appearing once (1.9%).

The fig.5 presents the overall sentiment analysis of user conversations. The pie chart shows the distribution of sentiments identified by the AI: Positive with 26 occurrences (50.0%), Curious with 16 occurrences (30.8%), Negative with 4 occurrences (7.7%), and Neutral with 2 occurrences (3.8%).

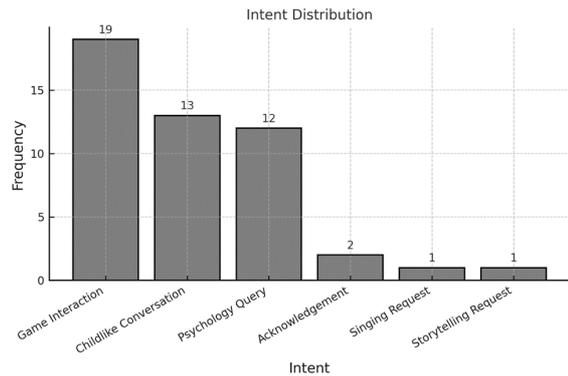


Fig.4. Game Interactions

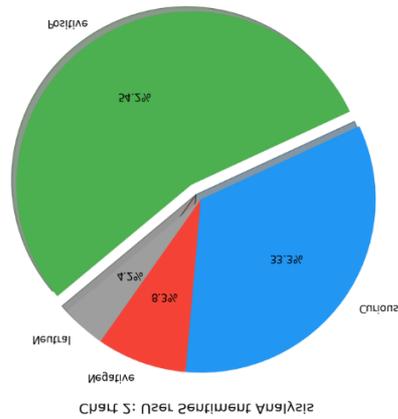


Fig.5. sentiment analysis of user conversations

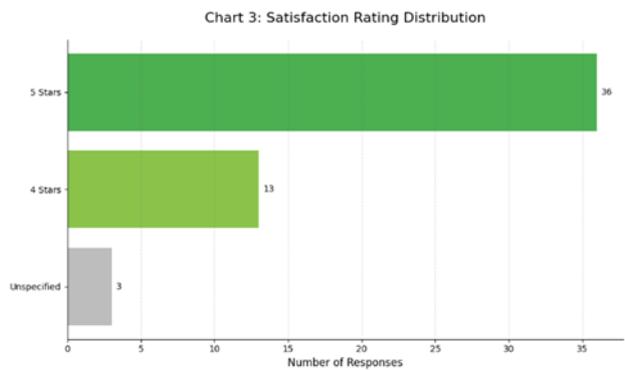


Fig.6. Satisfaction Rating

The third chart illustrates the distribution of user satisfaction ratings on a scale of 1 to 5. The majority of users gave the highest rating, with 36 responses (69.2%) at level 5, followed by 13 responses (25.0%) at level 4. No users rated at levels 3, 2, or 1. Additionally, 3 responses (5.8%) were unspecified, assumed to indicate no rating was provided.

Table 2: Mapping of Research Hypotheses

Hypothesis	Survey Evidence	Interpretation
H1: Gamification increases engagement and motivation	Users reported moderate likelihood of increased Voice AI use when gamification features (e.g., rewards, personalization, emotion-adaptive design) were included.	Supports H1: gamification elements are perceived to enhance engagement and motivation compared to non-gamified systems.
H2: Age and prior experience influence gamification preferences	Participants were mostly 18–24-year-old undergraduates with varied usage frequency. Younger and less experienced users favoured personalization, special content, and natural conversation improvements.	Supports H2: demographic factors shape gamification preferences, with younger users valuing customization while low-frequency users stress functionality before playful features.

The survey results indicate that incorporating gamification elements such as rewards, personalization, and emotion-adaptive features can enhance engagement and motivation in Voice AI systems. Demographic characteristics, particularly age and prior experience, were found to shape user preferences, with younger and less experienced users favoring playful customization and natural interaction, while low-frequency users prioritized functional reliability. These findings highlight the moderating role of user characteristics in determining the effectiveness of gamified Voice AI.

SUMMARY and DISCUSSION

The empirical findings indicate that the predominant Voice AI interactions comprised game-based activities, childlike conversational exchanges, and psychology-related queries, collectively accounting for the majority of system usage. Levels of user satisfaction were consistently high, with nearly all participants providing favorable evaluations of their experiences. Sentiment analysis further demonstrated that user interactions were largely characterized by positive and inquisitive tones, thereby lending support to the hypotheses that the incorporation of gamification mechanisms enhances user engagement and motivation (H1), and that demographic factors

such as age and prior experience serve as moderating variables in shaping user preferences (H2).

This study is situated within the broader objective of designing a Voice AI agent enriched with gamification features—including points, rewards, and challenges—with the intent of augmenting user engagement. The research design emphasizes the empirical evaluation of these gamified elements in fostering interaction quality, promoting retention, and improving user satisfaction, drawing upon both experimental testing and user feedback. In addition, the investigation seeks to determine which gamification features exert the most pronounced influence on creating meaningful and enjoyable interactions. The project is expected to culminate in the development of a prototype mobile application that operationalizes the conceptual framework of a gamified Voice AI agent. The Voice AI interactions centered on game-based activities, childlike conversations, and psychology related queries, resulting in very high user satisfaction and predominantly positive and inquisitive sentiment. The objective of this research was to design a Voice AI agent using gamification elements to improve interaction quality and user retention.

For this research, the findings provide preliminary insights into how gamification elements may enhance long-term engagement with AI voice agents, how demographic factors might influence the effectiveness of playful features, and which combinations of rewards, personalization, and social presence contribute most to user satisfaction. To build on these insights, future studies should include a clear experimental comparison between a non-gamified baseline, a partially gamified version, and a fully gamified model to determine the incremental impact of each gamification level and establish more robust design guidelines.

References

- [1] M. G. Elmashhara, R. De Cicco, S. C. Silva, M. Hammerschmidt, and M. L. Silva, “How gamifying AI shapes customer motivation, engagement, and purchase behavior,” *Psychology & Marketing*, vol. 41, no. 1, pp. 134–150, 2023, doi: 10.1002/mar.21912.
- [2] A. Liu, “AI agents: Transforming the future of research with digital researchers,” *IBM Community*, Jan. 7, 2025. [Online]. Available: <https://community.ibm.com/community/user/ai-datascience/blogs/alex-liu/2025/01/07/ai-agents-transforming-the-future-of-research-with>
- [3] O. J. Chavez and T. Palaoag, “AI-driven mobile application: unraveling students’ motivational feature preferences for reading comprehension,” *Journal of Research in Innovative Teaching & Learning*, vol. 17, no. 2, pp. 226–242, 2024, doi: 10.1108/JRIT-02-2024-0045.

- [4] S. Zhang, Y. Lu, J. Liu, J. Yu, H. Qiu, Y. Yan, and Z. Lan, "Unveiling the secrets of engaging conversations: Factors that keep users hooked on role-playing dialog agents," arXiv preprint arXiv:2402.11522, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2402.11522>
- [5] N. Vedula, G. Castellucci, E. Agichtein, O. Rokhlenko, and S. Malmasi, "Leveraging interesting facts to enhance user engagement with conversational interfaces," arXiv preprint arXiv:2404.06659, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2404.06659>
- [6] A. G. Persada, "User experience on games development trends," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1341, p. 042010, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1341/4/042010.
- [7] Artificial Agency, "Playful intelligence: Bringing generative behavior to games," Artificial Agency. [Online]. Available: <https://www.artificial.agency/news/playful-intelligence>
- [8] V. K. Pham, T. D. Pham Thi, and N. T. Duong, "A study on information search behavior using AI-powered engines: Evidence from chatbots on online shopping platforms," *SAGE Open*, vol. 2024, pp. 1–18, 2024, doi: 10.1177/21582440241300007.
- [9] Bräuer, P., & Mazarakis, A. (2024). How to Design Audio-Gamification for Language Learning with Amazon Alexa? — A Long-Term Field Experiment. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(9), 2343-2360.
- [10] X. Yao, "The motivations for using AI voice assistant: A systematic literature review," in *Proc. 3rd Int. Conf. Financial Technology and Business Analysis*, 2024, doi: 10.54254/2754-1169/151/2024.19413.
- [11] D. Ghimire, M. Uther, and J. Kim, "Gamified speaker comparison by listening," arXiv preprint arXiv:2205.04923, 2022. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2205.04923>
- [12] C. J. Costa et al., "Gamification and AI: Enhancing user engagement through intelligent systems," arXiv preprint arXiv:2411.10462, 2024.
- [13] Bittner, J. V., & Schipper, J. (2014). Motivational effects and age differences of gamification in product advertising. *Research in Advertising*.
- [14] Minge, M., et al. (2020). Gamification with older adults: PC-Trainer study. *Information*, 11(5), 249.
- [15] Koivisto, J., & Hamari, J. (2014). Demographic differences in perceived benefits from gamification. *Proc. 2014 ACM Conf. Gamification*.
- [16] Issabek, A., Oliveira, J., Hamari, J., et al. (2025). The effects of demographic factors on learners' flow experience in gamified quizzes. *Smart Learning Environments*.
- [17] Nguyen, A., et al. (2024). Older adults' perceptions and preferences in gamified systems. *International Journal of Human-Computer Interaction*.
- [18] A. S. Majumder, "The influence of UX design on user retention and conversion rates in mobile apps," arXiv preprint arXiv:2501.13407, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2501.13407>
- [19] M. Hassenzahl, *Experience Design: Technology for All the Right Reasons*. San Rafael, CA, USA: Morgan & Claypool Publishers, 2010, doi: 10.2200/S00261ED1V01Y201003HCI008.
- [20] A. M. H. Abbas, K. I. Ghauth, and C.-Y. Ting, "User experience design using machine learning: A systematic review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 51501–51514, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3173289.
- [21] Google, "Gemma: Lightweight open language models," Google Research, 2024.
- [22] P. Lewis, E. Perez, A. Piktus, F. Petroni, V. Karpukhin, N. Goyal, ... and S. Riedel, "Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks," in *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 33, pp. 9459–9474, 2020.
- [23] G. Izacard and E. Grave, "Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering," in *Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics (EACL)*, Online, Apr. 2021, pp. 874–880.

Evaluating Interface Consistency and User Control in Fog and Edge Computing Dashboards: A Heuristic Analysis of Open-Source Platforms

Seung Hwan Kang^{1*} and Jira Yammeesri²

¹seung_h@payap.ac.th and ²jira_y@payap.ac.th

^{1, 2}The International College, Payap University, Chiang Mai

Received: June 24, 2025; Revised: July 1, 2025; Accepted: August 5, 2025; Published: December 27, 2025

Abstract – Fog and edge computing platforms increasingly become necessary for the management of distributed Internet of Things services, but their management dashboards are not typically very friendly to users. This study discusses a heuristic analysis of two most widely used open-source management dashboards, EdgeX Foundry and FogFlow, in terms of five usability guidelines: consistency and standards, user control and freedom, visibility of system status, error prevention, and help and documentation. Nineteen usability issues were identified and rated according to Nielsen's heuristic model through task-based, expert-led walkthroughs. Major issues included non-consistent terminology, a lack of undo or confirm features for critical actions, inadequate real-time feedback, and a lack of embedded help facilities. These issues reduce operation effectiveness and increase the likelihood of user error, most notably in time-sensitive or high-risk scenarios. The study proposes certain recommendations such as standardizing the components of the interface, improving the options provided to the users for control, improving system feedback, and incorporating contextual help. The incorporation of human-centered design principles during the creation of fog and edge dashboards will significantly enhance usability, enable better decision-making, and enable easier use in real-world implementations.

KEY WORDS: Usability Evaluation, Dashboard Interface Design, Heuristic Analysis, Fog Computing, Edge Computing, Distributed Computing

1. Background and Significance

Fog and edge computing have shown themselves to be vital distributed computing paradigms of late, especially in Internet of Things (IoT) settings, because they enable low latency processing and more efficient resource utilization close to data sources. Unlike traditional cloud computing models that see storage and data processing take place largely in main data centers, fog and edge computing bring computational capacities nearer to where data is produced, either at the network's edge or regions nearest to it. This approach builds upon some of the underlying challenges of latency reduction, bandwidth optimization, and privacy enhancement of data networks. These are critical in autonomous vehicles, smart grids, real-time industrial automation, and smart city infrastructure.

Fog computing, envisioned by Bonomi et al. [1], provides a hierarchical architecture that adds local processing capability through

intermediate nodes in addition to cloud capabilities. Edge computing builds on this by providing the ability to perform computation on devices or on immediate gateways, reducing reliance on distant data centers. Together, these paradigms provide more scalable and responsive IoT solutions.

Effective control and monitoring are required to operate such distributed and dynamic systems. Administrative dashboards are the chief user interfaces through which system operators and administrators can control device status, install services, respond to alarms, and maintain the system healthy. How easily accessible these dashboards are will directly impact on the safety, accuracy, and efficiency of system administration tasks. In manufacturing facilities, for example, a well-designed dashboard may allow for prompt response to failures to minimize downtime and prevent cascading failure.

Despite the crucial contribution of fog and edge computing, research was limited to a

theoretical basis for judging usability for associated dashboards. The limited usability studies conducted have largely focused on application domains such as healthcare [14], industrial Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems [11], and data analytics environments [13]. These investigations pin down common usability issues, including inconsistent user interface design, insufficient prevention of errors, and inadequate feedback mechanisms. These factors can sharply degrade operator performance and system reliability.

The growing adoption of fog and edge computing platforms in mission-critical environments underlines the need for making use of rigorous usability evaluation methods for such systems. Poor usability in such interfaces is not likely to cause operator error but also undermines the large-scale deployment and feasibility of IoT integration. This study aims to fill this research gap by conducting a heuristic evaluation of two of the most popular open-source fog and edge computing dashboards with focus on significant usability factors that affect system management.

2. Objectives

This study evaluates administrative dashboard usability within fog and edge computing systems in terms of heuristic design principles previously applied. The evaluation is aimed at five factors: consistency in the interface, user control, visibility of system status, prevention of errors, and provision of help and documentation.

The aim is to uncover common usability challenges in these areas and turn the findings into practical design recommendations. Making dashboards easier to use can lighten the load on system operators, reduce the chances of mistakes, and improve the overall efficiency of managing the system.

Additionally, this research fills an important literature gap by applying a robust heuristic evaluation framework to an area where usability is frequently overlooked. Results are intended to support developers, researchers, and system integrators in promoting more user-centered ways of designing distributed computing interfaces.

3. Hypothesis

The main hypothesis for this study is that administrative dashboards of top fog and edge

computing systems suffer from serious usability issues that complicate system management. In generally, it is predicted that these user interfaces will exhibit infractions of core usability rules, including inconsistencies in design language, ineffective mechanisms for guiding users, insufficient system status visibility, inadequate measures to prevent errors, and lack of accessible help tools.

This hypothesis is supported by previous findings in related fields, such as SCADA systems [1] and medical dashboards [15], where similar interface shortcomings have been linked with high cognitive load and procedural errors. Considering the relative novelty and technological complexity of fog and edge computing infrastructures, and alongside the frequently open-source development environment, it is reasonable to expect accompanying or even elevated levels of usability problems.

Moreover, such platforms are commonly found in mission-critical and time-sensitive environments where usability issues can lead to serious operational risks. Therefore, testing this hypothesis will highlight some design flaws as well as the need to include human-centered design principles at an early stage in the development of fog and edge computing interfaces.

4. Methodology

The usability issues with fog and edge computing dashboards were evaluated in this study using an organized methodology. To identify recurrent design issues, the assessment focused on a qualitative expert review using a commonly accepted usability inspection approach. The techniques employed are described in depth in the following subsections.

4.1 Heuristic Evaluation Approach

This study utilizes heuristic evaluation as its primary methodological approach. Introduced by Nielsen and Molich [6], heuristic evaluation is a well-established usability inspection method in which a small group of experts systematically examines an interface based on a set of predefined usability principles, or heuristics. The approach has been recognized for its ability to identify usability issues quickly and cost-effectively, making it particularly useful for evaluating complex technical systems prior to more extensive user testing.

4.2 Selection of Heuristics

Using Nielsen's usability heuristics as a guide [5], this study focused on five key areas that are particularly relevant to fog and edge computing dashboards. These included keeping the interface consistent to reduce confusion, giving users enough control to undo actions or move around freely, making system status clear and easy to follow, designing in ways that help prevent mistakes before they happen, and offering built-in help or guidance when needed. These principles were chosen because they play a major role in how effectively system administrators can interact with complex platforms and manage their cognitive workload.

4.3 Platforms Under Review

This research compares two widely used open-source systems: FogFlow and EdgeX Foundry [9][10]. They were selected because they are used in the fog and edge computing and IoT communities. They are also representative design patterns one finds when dealing with administrative dashboards used for distributed system administration. EdgeX Foundry claims modular design with interoperability and integration ease that allows administrators to monitor device state and streams of data effectively. In contrast to this, FogFlow is designed for orchestration in edge environments and provides real-time monitoring and control features. The differences in system design and user interface design of these two platforms make them excellent candidates for comparative usability testing.

4.4 Evaluation Procedure

To systematically uncover usability issues, the study employed a heuristic evaluation carried out by two experts in human-computer interaction who had prior experience assessing complex user interfaces. The evaluation began with a familiarization stage, during which the experts explored key features of each dashboard and typical workflows followed by system administrators. The experts then walked through based on common administrative operations like creating devices, deploying services, and handling alerts.

In addition to these general workflows, the evaluators performed a set of predefined tasks: device registration, service deployment, configuration of data pipelines, reviewing alerts and notifications, and log inspection. These are

tasks considered important administrator activities that are common in operational fog and edge computing environments. For each of these tasks, the evaluators recorded issues found on the interface, the time taken to perform the activity, clarity and immediacy of system feedback as the test subjects went through each step, and any navigation difficulties or ambiguities in terminology.

Any usability issues that were generated from performing such actions were detailed, rated for severity using Nielsen's zero to four scale.

Table 1. Nielsen's Usability Severity Rating Scale.

Rating	Label	Description
0	Not a usability problem	No negative impact on usability; no corrective action needed.
1	Cosmetic problem only	Minor issue; fix is optional and typically addressed only if time allows
2	Minor usability problem	Fix is useful but not urgent; may be considered if it affects many users
3	Major usability problem	Fix is important; significantly disrupts the user experience
4	Usability catastrophe	Must be resolved immediately; severely impacts system usability

To help assess the level of agreement between the two evaluators, a simplified inter-rater reliability check was performed. The ratio of agreement, based on a comparison of the severity judgments for all identified issues, is roughly 85 percent. The quick estimate of Cohen's Kappa, via the formula, is as follows:

$$\kappa = (P_o - P_e) / (1 - P_e)$$

where P_o represents the observed agreement (approximately 0.85) and P_e represents the expected agreement. Using these values yields an estimated $\kappa \approx 0.69$, which is generally interpreted a high degree of agreement. Although not a complete statistical assessment of reliability, a degree of agreement is useful correlating to enhanced overall evaluation consistency.

Although the evaluation was carried out by two experts, it is rigorous with respect to documentation, following guidelines on conducting a heuristic evaluation. In fact, in the future, having multiple people conduct evaluation tasks can increase reliability through triangulation.

4.5 Limitations

While heuristic evaluation is a well-established approach for identifying usability issues during the early phases of system assessment, it cannot fully replace testing with actual users. Because this approach relied on expert analysis rather than direct observation or experimental data from system operators, certain usability problems tied to real-world usage, such as those influenced by operational pressure, complex workflows, or varying levels of user experience, may not have been fully captured.

In addition, the scope of the evaluation was limited to two representative fog and edge computing platforms. These systems were chosen for their relevance and for reflecting common architectural features, yet the findings may not extend to every platform in this category. Differences in how mature the software is, who the users are, and the specific environments in which the systems are used can all influence the kinds of usability issues that may arise.

In addition, the scope of assessment has been limited to two representative fog and edge computing platforms. The reason is that such systems are representative but may not necessarily generalize to all platforms categorized under fog and edge computing platforms. This is attributed to software development stages, user base, as well as the environment in which such platforms are used.

Despite these limitations, the study provides key findings regarding ubiquitous interface design issues in fog and edge environments. The resulting issues and proposed solutions are a starting point for follow-up research and design improvement, ideally based on empirical user testing, larger sampling of platforms, and longitudinal studies for identifying evolving trends in use.

5. Findings

This study conducted a heuristic evaluation of two fog and edge computing dashboards, namely EdgeX Foundry and FogFlow. The evaluation process identified

nineteen unique usability issues categorized under five established heuristic principles. These results indicate multiple interface deficiencies that may adversely affect system administration efficiency and operational safety.

Table II. Identified Usability Issues Based on Nielsen’s Heuristics and Severity Ratings.

Heuristic	Usability Issue	Severity (0-4)
Consistency and Standards	1. Inconsistent use of terminology across modules	3
	2. Varied iconography for similar functions	2
	3. Inconsistent layout between dashboard sections	2
	4. Unclear or inconsistent labeling of navigation and action items	3
User Control and Freedom	5. No undo function for critical actions	4
	6. Missing confirmation dialogs for irreversible changes	4
	7. Lack of versioning or rollback functionality	3
Visibility of System Status	8. Delayed or missing feedback during key operations	3
	9. Absence of a centralized real-time system health overview	2
	10. Vague error messages lacking actionable information	3
	11. Insufficient feedback on background processes	2

Error Prevention	12. Lack of input validation for critical fields	4
	13. Absence of guided workflows during complex configurations	3
	14. No warnings for potentially harmful parameter settings	4
	15. Advanced options presented without sufficient context or explanations	2
Help and Documentation	16. No contextual help	2
	17. No onboarding guidance for first-time users	3
	18. Help materials located externally and not integrated into the interface	2
	19. Ineffective or absent search functionality in documentation	2

5.1 Consistency and Standards

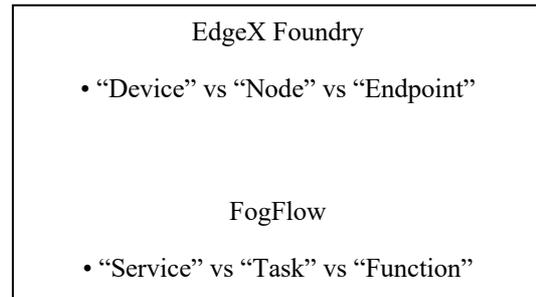
One of the frequent usability issues on both systems was the inconsistency of the visual organization and terminology. In EdgeX Foundry, for example, words like "device," "node," and "endpoint" were used interchangeably but without any background information or definition. Such inconsistency is liable to mislead users and makes it difficult for users to know how the system is structured or how its components relate to one another.

Therefore, the FogFlow dashboard was also inconsistent in its menu organization and button placement between modules. Inconsistency in navigation behaviors resulted in the fact that users would need to acquire new control patterns every time they shifted views,

potentially adding more cognitive effort as well as possibility of error in operation.

Figure 1. Inconsistent Terminology

5.2 User Control and Freedom



There were no adequate controls on either dashboard to reverse a motion or verify possibly harmful actions. For example, EdgeX Foundry increased the risk of inadvertent data loss by removing a confirmation popup when users erased a device or service. FogFlow also lacked an undo mechanism for config changes, making it hard for the user to simply recover from errors.

Moreover, navigation paths were occasionally rigid with little provision for backtracking or crossing parallel paths without the need to restart operations. This constraint made error recovery difficult and decreased confidence from the user during complex maneuvers.

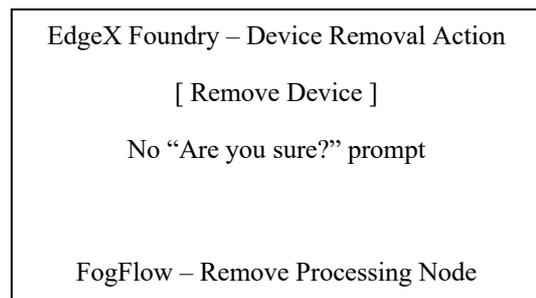


Figure 2. Missing Confirmation Dialogs for Critical Operations.

5.3 Visibility of System Status

Immediate and direct feedback on system status is critical in distributed computing resource management. Both dashboards were lacking it. EdgeX Foundry had very little real-time feedback on services available and devices online, and multiple manual refreshes or visiting specific logs had to be performed to establish system well-being. Such a delay in feedback can

introduce uncertainty and delayed response in critical scenarios.

FogFlow's alerting was minimalist and sometimes infrequent, failing to adequately notify users of important events such as node failure or job completion. Actors had incomplete system state awareness, which compromises situational awareness.

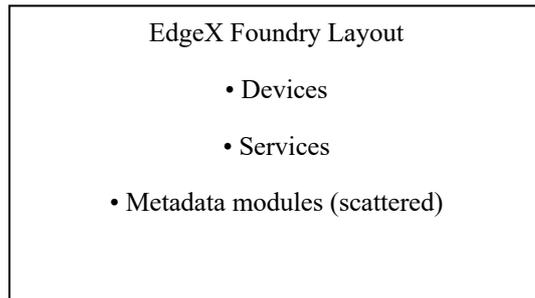


Figure 3. Lack of Real-Time System Status Visibility.

5.4 Error Prevention

Preventing errors before they occur is a basic design goal that was not discussed adequately. Neither platform integrated form validation consistently. For example, EdgeX Foundry allowed for filling in or submitting partially null or inaccurately filled-out device registration data, which instigated backend faults difficult to interpret or correct by users.

FogFlow also lacked guided workflows or inline help that could steer users away from errors. Failure to have proactive error prevention can result in increased levels of operational faults and maintenance overhead.

5.5 Help and Documentation

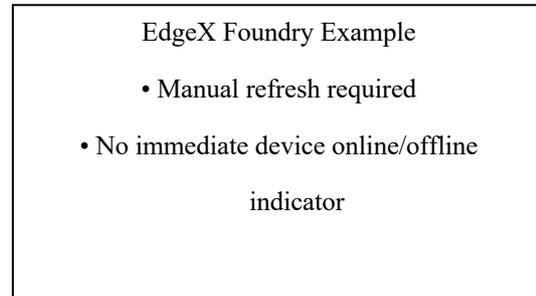
Both dashboards lacked ready documentation and support. Internal help was light, and most support consisted of separate, static reference websites. This required customers to leave the dashboard just to switch settings or debug problems, disrupting their workflow and making routine processes even more frustrating than necessary.

This disconnects between the dashboard and help resources disrupts workflow and can lead to frustration, particularly for new or less experienced administrators.

In summary, the findings disclose key usability shortcomings that need to be addressed to make fog and edge computing dashboards more

user-friendly and dependable for everyday operational use.

Figure 4. Comparison of Dashboard Structures.



6. Discussion

The heuristic evaluation results identify significant usability flaws in fog and edge computing dashboards to confirm the primary hypothesis that such interfaces lack elementary human-centered design principles. These shortcomings have long-term implications on the efficiency, accuracy, and overall user experience of administrators overseeing distributed IoT systems.

6.1 Terminology and Inconsistencies Issues

Terminological and graphical design inconsistencies undermine users' ability to form stable mental models, essential for effective decision-making and error avoidance in complex systems [7]. As dashboards utilize interchangeable or vague vocabulary, users put cognitive effort into only interpreting interface language instead of task goals. This slows down processes and potentially increases chances for misinterpretation, especially where time pressures typical of real-world deployment apply.

These findings are in alignment with previous research conducted in industrial SCADA and clinical dashboards, when it was identified that standardization of vocabulary was essential to avoid confusion and improve learnability [11] [15]. For fog and edge platforms, having a standardized vocabulary and visual language becomes even more important given the technical heterogeneity of IoT devices and services.

6.2 The Critical Role of User Control

Lack of undo function and confirm dialogs is a serious usability risk. In dynamic systems where configurational changes have

extensive effects, operators should be allowed to experiment and correct errors freely without endangering irreversible harm. The absence of such facilities not only introduces stress but can lead to operational errors with costly repercussions.

This reflects usability principles in general terms across HCI literature [5][12], but appears under-discussed in fog and edge computing platforms, feasibly because the technical focus of these tools deflects from usability concerns. More robust user control mechanisms need to be emphasized to empower operators and reduce errors.

6.3 Visibility of System Status and Real-Time Feedback

The two systems did not support evident and prompt system status indicators, and this undermines situational awareness. This awareness is a strong predictor of effective monitoring and swift decision-making. [3]. Without the instant feedback, the users are never certain if an operation was performed effectively or devices were functioning properly. Such ambiguity can delay important actions and lead to misconceptions about the status of the system.

Real-time feedback has been documented as a key component of usable system design, particularly in cases where continuous attention is demanded [4]. The study indicates that fog and edge dashboard developers to improve notice mechanisms and to incorporate automated status updates more effectively.

6.4 Error Prevention in Practice

The evaluation showed a tendency to focus on error detection rather than proactive error prevention. Modern usability models focus on the development of interfaces that prevent users from making errors in the first place [8]. These include form validations, guided workflows, and contextual suggestions.

Due to the technical complexity and mission-critical nature of fog and edge computing systems, interfaces should proactively assist users by validating inputs and warning users about potential conflicts or misconfigurations before changes are submitted. This preventative design reduces operational risks and eases training for new users.

6.5 Help and Documentation Integration

The disperse and poorly integrated help materials found in both systems disrupt workflow and reduce usability, particularly among new users to both sites. The embedding of contextual, accessible help within dashboards can significantly increase user confidence and productivity, as documented in usability best practices [2].

Use of static documentation instead of embedded support may be a side effect of the open-source nature of these projects with limited resources for designing user experience. However, as usage grows, it will be important to prioritize using embedded help to allow for larger user bases.

In summary, this study applies heuristic assessment to fog and edge computing dashboards, a crucial component of contemporary IoT systems, occupying a largely unexplored area in usability research. The findings suggest that most usability issues encountered in industrial and clinical dashboards are applicable to these systems as well, with their own set of challenges in the environment of fog and edge computing.

Future research should build upon these results by including actual operators in user testing, testing a more diverse range of platforms, and exploring interface designs that adapt to the experience level of the user.

These findings also indicate that the fog and edge computing community has a need overall for increased support for usability. The improvement of dashboard design cannot be limited to merely meeting the performance requirements but should continue to emphasize human-centered development practices. The open-source community, designers, and researchers should increase collaboration to optimize design standards, enhance the development integration for usability, as well as validate the design with end-users. This is essential for making such platforms reliable, user-friendly, and more usable, especially given the increased importance of fog computing platforms within IoT infrastructure.

7. Conclusion

Even though this assessment has identified a number of usability problems within the two platforms used, the assessment results need to be considered as preliminary, as they are not a conclusive determination concerning all fog and edge computing dashboard interfaces. As

edge and fog computing infrastructures become more central to distributed IoT management, the usability of their control panels becomes critical. This work found extensive usability shortcomings through a rigorous heuristic evaluation, identifying significant issues ranging from lack of consistent terminology, minimal user control features, lack of immediate feedback, and lack of integrated help facilities. In sophisticated IoT environments, such vulnerabilities erode the efficiency, security, and well-being of the administrators.

To address these gaps, there must be a shared vocabulary for the interface and a shared look and feel to support such systems. This approach enhances clarity and reduces confusion for users. An extension of control features such as undo and redo actions, confirmation prompts, and audit trails can lead users to make aggressive actions without fear of making irreversible mistakes. In addition, greater visibility of system state through clearly visible alerts and readily accessible notifications enhances situational awareness and timely decision-making. As similarly useful, contextual assistance features in dashboards, such as tooltips and guided tours, can also support user independence and allow new users to get settled in earlier. Finally, employing preventive usability practices like input validation and context-sensitive tips can avoid errors from happening at all, and therefore the system is stable and manageable.

By incorporating these human-centered design principles, fog and edge dashboards may better support the demands of distributed IoT infrastructures by improving security, productivity, and usability. Looking ahead, future research should build on these findings by conducting empirical user studies, developing adaptive interface prototypes for both novice and experienced users, and evaluating a broader range of open-source and commercial platforms.

References

- [1] F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, "Fog computing and its role in the internet of things," in *Proc. First Edition MCC Workshop on Mobile Cloud Computing*, Helsinki, Finland, 2012, pp. 13-16.
- [2] J. Carroll, Human-computer interaction: Psychology as a science of design, *Annual Review of Psychology*, vol. 48, no. 1, pp. 61-83, 1997.
- [3] M. R. Endsley, "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems," *Human Factors*, vol. 37, no. 1, pp. 32-64, 1995.
- [4] T. Bach, L. Weber, and M. Li, "Patterns and principles of dashboard design: A survey of 144 systems," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, vol. 28, no. 7, pp. 2835-2848, July 2022.
- [5] J. Nielsen, *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann, 1994.
- [6] J. Nielsen and R. Molich, "Heuristic evaluation of user interfaces," in *Proc. ACM CHI Conf. Human Factors Comput. Syst.*, Seattle, WA, USA, 1990, pp. 249-256.
- [7] D. A. Norman, *The Psychology of Everyday Things*. New York, NY, USA: Basic Books, 1988.
- [8] D. A. Norman, *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*. New York, NY, USA: Basic Books, 2013.
- [9] OpenFog Consortium, "FogFlow User Guide," 2024. [Online]. Available: <https://www.openfog.org/fogflow>. [Accessed: Jan. 18, 2025].
- [10] EdgeX Foundry, "EdgeX Foundry Documentation," EdgeX Foundry, 2024. [Online]. Available: <https://www.edgexfoundry.org/docs>. [Accessed: Jan. 18, 2025].
- [11] J. Pham, T. Nguyen, and M. Tran, "Usability issues in SCADA interfaces: Heuristic and salience model evaluation," *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 164, May 2023, Art. no. 102876.
- [12] B. Shneiderman, C. Plaisant, and M. Cohen, *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 6th ed., Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2016.
- [13] S. Setlur, A. Karapanos, and A. Kapoor, "Design heuristics for interactive dashboards: A cooperative analytics perspective," *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, vol. 30, no. 2, pp. 1-37, April 2023.
- [14] J. Cram, R. H. Wilson, and P. G. Thompson, "User control and visual clarity in clinical dashboards: A heuristic assessment," *J. Healthcare Informatics Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 261-274, 2019.
- [15] M. Vilarinho, C. Silva, and A. Oliveira, "Heuristic evaluation of patient-reported outcome dashboards: Insights for healthcare UX design," *J. Med. Syst.*, vol. 46, no. 4, pp. 1-15, April 2022.

การพัฒนาแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบ
ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์

Development of an Interactive Multimedia Platform Using Cross-Device Virtual Reality

ทิพย์มณฑา ผกาแก้ว **และ สมใจ จิตค้ำนึ่งสุข*

*Thipmonta Pakakeaw **and Somjai Jitkamnuangsook **

*thipmonta.p@pkru.ac.th** and somjai.j@pkru.ac.th**

สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

Digital Technology Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

Received: November 28, 2025; Revised: December 20, 2025; Accepted: December 22, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT – This research aims to examine the digital ecosystem supporting the design and development of an interactive multimedia platform using virtual reality (VR) technology, and to evaluate the performance of the cross-device VR-based multimedia platform. Experimental results indicate that the proposed digital ecosystem efficiently supports both VR Desktop and VR Meta Quest 2 environments. Performance testing shows that the VR Desktop configuration achieves an average frame rate of 107.83 FPS, with response time and latency values below 50 ms, whereas the Meta Quest 2 achieves an average frame rate of 86.63 FPS and exhibits slightly higher latency relative to the VR Desktop. Expert evaluations showed that the VR Desktop received the highest score ($\bar{x} = 4.46$), reflecting its stability and display quality. Furthermore, the satisfaction assessment involving 60 participants indicated that interaction between the VR Desktop and Meta Quest 2 (360° mode) yielded a mean score of 4.33 (S.D. = 0.71), while interaction between the Meta Quest 2 and Meta Quest 2 (360° mode) yielded a mean score of 4.50 (S.D. = 0.50). In conclusion, the integration of these systems substantially enhanced the effectiveness and performance of the virtual learning ecosystem.

KEY WORDS -- Virtual reality technology, Interactive multimedia, Cross-device VR, Human-technology interaction, Accessibility

บทคัดย่อ – การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบนิเวศดิจิทัลสำหรับออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนและ ประเมินประสิทธิภาพแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์ ผลการวิจัยพบว่า ระบบนิเวศดิจิทัลพัฒนาแพลตฟอร์มที่พัฒนารองรับการทำงานบนอุปกรณ์ VR Desktop และ VR Meta Quest 2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทดสอบเชิงเทคนิค VR Desktop มีค่า Frame Rate เฉลี่ย 107.83 FPS ค่า Response Time และ Latency ต่ำกว่า 50 ms ในขณะที่อุปกรณ์ Meta Quest 2 มีค่า Frame Rate เฉลี่ย 86.63 FPS และมีค่า Latency สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ VR Desktop 2) ผลประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ VR Desktop มีคะแนนสูงสุด ($\bar{X} = 4.46$) สะท้อนถึงความเสถียรและคุณภาพและ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 60 คน พบว่า การใช้งานแพลตฟอร์มระหว่าง VR Desktop กับ MetaQuest2 360° ($\bar{X} = 4.33$ S.D.=0.71) และ ระหว่าง Meta Quest 2 กับ Meta Quest 2 360° ($\bar{X} = 4.50$, S.D.=0.50) โดยสรุปการผสานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบนิเวศการเรียนรู้เสมือนจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ – เทคโนโลยีความจริงเสมือน, มัลติมีเดียเชิงโต้ตอบ, ความจริงเสมือนข้ามอุปกรณ์, ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับเทคโนโลยี, การเข้าถึงเทคโนโลยี

1. บทนำ

นวัตกรรมด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้เปลี่ยนแปลงรูปแบบการสื่อสารและการเรียนรู้ของมนุษย์อย่างต่อเนื่อง ได้แก่ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล อินเทอร์เน็ต และอุปกรณ์พกพา ปัจจุบันได้เข้าสู่เทคโนโลยีเชิงพื้นที่แบบคัมค่า อาทิ ความจริงเสมือน (Virtual Reality:VR) ความจริงเสริม (Augmented Reality) และความจริงผสม (Mixed Reality) ซึ่งมีความนิยมจากปี 2563-2673 คาดการณ์การขยายตัวด้านการตลาดสูง 55.9% ภายในปี2571[1] ที่ถูกนำไปใช้ในหลายสาขา โดยเฉพาะด้านการศึกษา [2][3] จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับประสบการณ์ผู้ใช้ในการสร้างต้นแบบความเป็นจริงเสมือน[4] โดยมีวิจัย 350 บทความของจากฐานข้อมูล Scopus ใช้เกณฑ์การคัดเลือกและการคัดออกที่เข้มงวดส่งผลให้ได้บทความวิจัย 7 บทความที่ผ่านการประเมินคุณภาพเกี่ยวกับประสบการณ์ผู้ใช้ในการสร้างต้นแบบความเป็นจริงเสมือน (VR) คือ 1) การจำลองการฝึกอบรมความเป็นจริงเสมือนสภาพแวดล้อมสามมิติ 2) เกมความเป็นจริงเสมือนแบบอินเทอร์แอคทีฟและ 3) นวัตกรรมพิพธิภัณฑ์ หรือศูนย์การเรียนรู้ความเป็นจริงเสมือนหรือการใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ เพื่อช่วยเพิ่มศักยภาพทางการศึกษาและ การมีส่วนร่วมแบบบันทึกภาพของสภาพแวดล้อมมีส่วนช่วยให้เกิดความเข้าใจอย่างละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลและสารสนเทศ โดยการนำเสนอเนื้อหาภายใต้โลกเสมือนจริง อาทิ จากประสบการณ์พิพธิภัณฑ์แบบดั้งเดิมให้เป็นรูปแบบเชิงนวัตกรรม โดยผู้ใช้สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าวได้ทำให้มีส่วนช่วยให้ผู้ใช้ได้รับความรู้เชิงวิชาการ ซึ่งแนวโน้มดังกล่าวสะท้อนผ่านสถิติ การใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในภาคอุตสาหกรรมมีการประยุกต์ใช้ อาทิ อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของบริษัท BMW ได้ใช้เทคโนโลยีสื่อเสมือนจริงในด้านการผลิตโดยให้ผู้ใช้เรียนจากการใช้แว่นตา ซึ่งจะมีข้อมูลคำแนะนำและการจำลองการทำงานแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติจริงในรูปแบบสามมิติ ภาคการศึกษาและภาคสังคมและ [5] เช่นเดียวกับด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี ดังกล่าวถูกนำมาใช้เพื่อสร้างความตระหนักรู้และส่วนเสริมในเรื่องการรับรู้ โดยเฉพาะการพัฒนาศูนย์การเรียนรู้เสมือนจริงด้านระบบนิเวศทะเล ซึ่งเน้นการสื่อสารเพื่ออนุรักษ์เต่ามะเฟือง (*Dermochelys coriacea*) สัตว์ทะเลหายาก ใกล้สูญพันธุ์ที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายทางชีวภาพ [6][7]

เทคโนโลยีความจริงเสมือนได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหา โดยช่วยจำลองสถานการณ์ที่เข้าถึงยากให้เสมือนจริงอย่างไรก็ตาม การนำ VR มาใช้ในวงกว้างยังเผชิญ

กับปัญหาวิจัยที่สำคัญ คือ ข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ (Device Fragmentation) โดยสื่อ VR ส่วนใหญ่มีถูกออกแบบมาให้ทำงานเฉพาะบนอุปกรณ์ราคาสูง (High-end PC VR) หรืออุปกรณ์พกพาที่มีข้อจำกัดด้านการประมวลผล (Standalone VR) อย่างใดอย่างหนึ่ง ทำให้เกิดช่องว่างในการเข้าถึงของผู้ใช้งานที่มีอุปกรณ์แตกต่างกันด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนรองรับการทำงานของผู้ใช้ที่มีอยู่อย่างจำกัด เป็นแหล่งสารสนเทศเพื่อเป็นส่วนเสริมความรู้เข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์เป้าหมายที่ 14: อนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากมหาสมุทร ทะเลและทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืนเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน[8] โดยผู้จัดทำมุ่งเป้าเพื่อไกลจากสูญพันธุ์ทำให้มีการเพาะเลี้ยงศึกษาสภาพทางทะเล การเกิดภัยคุกคามและการช่วยเหลือสัตว์ทะเล ให้แก่เยาวชน นักท่องเที่ยวและสาธารณชนภายใต้กรอบโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช (อพ.สธ.) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นนำเสนอการพัฒนากรอบแนวคิดและแพลตฟอร์ม "Cross-Device VR Ecosystem" ที่สามารถเชื่อมโยงการทำงานระหว่างอุปกรณ์ VR Desktop และอุปกรณ์VR แบบพกพา โดยใช้กรณีศึกษาเรื่องการอนุรักษ์เต่ามะเฟืองเป็นต้นแบบในการทดสอบระบบ เพื่อพิสูจน์ว่าแพลตฟอร์มนี้สามารถยกระดับการเรียนรู้และแก้ไขปัญหาการเข้าถึงเทคโนโลยีในบริบทของการอนุรักษ์ธรรมชาติ

โดยงานวิจัยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาระบบนิเวศดิจิทัลสำหรับแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน 2) เพื่อออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน กรณีศึกษา ศูนย์การเรียนรู้เต่ามะเฟืองและ3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มรองรับระบบนิเวศดิจิทัลความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์ โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเพื่อสร้างประสบการณ์การใช้เทคโนโลยีความจริงเสมือน

2.1 ระบบนิเวศดิจิทัลสำหรับเทคโนโลยีความจริงเสมือน

ความจริงเสมือนในรูปแบบดิจิทัลจากการศึกษาสภาพแวดล้อมดิจิทัลมีองค์ประกอบ อาทิ แพลตฟอร์ม แอปพลิเคชัน อุปกรณ์ เครือข่าย และประสบการณ์ผู้ใช้และการบูรณาการสื่อมัลติมีเดีย ดังนี้ ภาพ วิดีโอ ภาพสามมิติ เสียง อินเทอร์เน็ตที่แพร่หว่างผู้ใช้เข้าด้วยกันเทคโนโลยีความจริงเสมือน ทำ

ให้ผู้ใช้ได้ประสบการณ์การเรียนรู้หรือสื่อสารที่เชื่อมโยงกัน โดยการพัฒนากระบวนการเรียนรู้เสมือนจริงสำหรับการศึกษาทางไกล ซึ่งขั้นตอนการพัฒนา 7 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบและปรับปรุง การอบรมและสนับสนุนผู้ใช้ การประเมินผล และ โดยการพัฒนาต่อเนื่อง ประกอบด้วย องค์ประกอบ 10 ด้าน ได้แก่ เทคโนโลยีดิจิทัล แพลตฟอร์มการเรียนรู้ออนไลน์ เนื้อหาดิจิทัล การสื่อสารและความร่วมมือ การประเมินและติดตาม ข้อมูลและ วิเคราะห์การปรับการเรียนตาม ผู้เรียน การสนับสนุนผู้เรียน ทรัพยากร การเรียนรู้ภายนอก และการเผยแพร่ความรู้[9]

กระบวนการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับเทคโนโลยีความจริงเสมือน [10]หรือ แบบจำลองกระบวนการสร้าง VR เป็นองค์ประกอบสำคัญของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยเวิร์กโฟลว์ เริ่มจากการออกแบบเรื่องราวของผู้ใช้ในสภาพแวดล้อมเสมือน ซึ่งกำหนดโครงสร้างเชิงพื้นที่ วัตถุเสมือน และรูปแบบการโต้ตอบภายในระบบ โดยพัฒนาเนื้อหาโดยการทำงานร่วมกันของนักกราฟิกส์ภาพสามมิติ โปรแกรมเมอร์ และผู้เชี่ยวชาญด้านกลไกแบบเรียลไทม์ เพื่อผสานสภาพแวดล้อม วัตถุ และการโปรแกรมให้เป็นแอปพลิเคชัน VR ที่สมบูรณ์ ด้านสภาพแวดล้อม VR สามารถปรับใช้ได้ทั้งในรูปแบบแอปพลิเคชันแบบสแตนด์อโลน(VR Desktop) การเผยแพร่ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและแพลตฟอร์มเมตาเวิร์ส เพื่อรองรับการเข้าถึงของผู้ใช้หลายกลุ่ม แบบจำลองหรือแอปพลิเคชันดังกล่าว แนวทางเชิงระบบสำหรับนักพัฒนาแอปพลิเคชันและผู้สอนในการออกแบบ พัฒนา และจัดการเรียนรู้ด้านการพัฒนา VR อย่าง เป็นลำดับขั้น

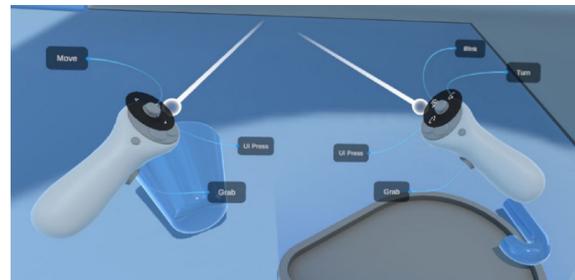
จากการศึกษาการพัฒนากระบวนการความจริงเสมือนเพื่อการศึกษาและการฝึกอบรม เน้นการคงคุณภาพประสบการณ์ผู้ใช้ (Quality of Experience: QoE) ให้อยู่ในระดับสูงอย่างสม่ำเสมอ โดยกำหนดมาตรฐานหลัก 3 ประการ ได้แก่ 1) การเพิ่มประสิทธิภาพและการปรับตัวของฉาก (Optimization and Scene Adaptability) สามารถตรวจจับรวมถึงปรับลดความซับซ้อนของฉากเมื่อประสิทธิภาพลดลง โดยการคงค่าการตั้งค่าที่เสถียรและหลีกเลี่ยงความหน่วงที่ผันผวน (Variable Latency) เพื่อป้องกันอาการไม่สบายขณะใช้งาน 2) ข้อกำหนดด้านประสิทธิภาพขั้นต่ำ (Minimum Performance Requirements) ระบบต้องรักษาความหน่วงแบบ End-to-end ไม่เกิน 30 มิลลิวินาที และอัตราเฟรมเท่ากับอัตราการรีเฟรชของอุปกรณ์สวมศีรษะ (60–120 Hz) ต้องมีการจัดการกรณีสูญเสียการติดตามศีรษะโดยการทำให้ฉากจางหายไปอัตโนมัติ เพื่อป้องกันความไม่สบายและการรับรู้ผิดพลาดของผู้ใช้ และ 3)

การเคลื่อนไหวของมุมมองและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ (Viewpoint Motion and Device Reliability) ระบบควรจำกัดการเคลื่อนไหวที่ไม่ได้ควบคุมโดยผู้ใช้ไม่ให้มีความเร่งต่อเนื่องเกิน 1 วินาที เพื่อหลีกเลี่ยงอาการเมาไซเบอร์ (Cybersickness) และต้องรักษาความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ป้อนข้อมูลเพื่อให้การตอบสนองมีความต่อเนื่องและเสถียร [9]

2.2 เทคโนโลยีความจริงเสมือน

ความจริงเสมือน(Virtual Reality) เป็นสภาวะจำลองที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อให้เหมือนสภาวะจริง ซึ่งผู้ใช้สามารถมีปฏิริยาโต้ตอบกับสภาวะจำลองนี้ได้ เช่น การจำลองสภาพเรือนไทยเพื่อให้ผู้ชมสามารถเข้าไปดูห้องต่าง ๆ ภายในได้เสมือนกับเข้าไปดูจริง ๆ[11] [12]

เทคโนโลยีความจริงเสมือน [13]จำแนก 2 ประเภทด้วยกันตามอุปกรณ์การสร้างภาพและการมีปฏิสัมพันธ์ 1) Non-immersive หรือ Desktop VR หรือ Window on World System (WoW) ซึ่งเป็นการใช้จอภาพคอมพิวเตอร์ทั่วไปในการแสดงภาพเสมือนจริงและ 2) Immersive ภาษาไทยใช้คำว่า “ดิมด์้า” ในโลกเสมือนจริงเป็นการแสดงภาพเสมือนจริงสำหรับส่วนบุคคลโดยใช้จอภาพสวมศีรษะ (Head-mounted Display: HMD) โดยต้องมีการตั้งค่าอุปกรณ์สำหรับการใช้งานเพื่อเข้าโหมดโปรแกรมการใช้งาน



รูปที่ 1 แสดงภาพการตั้งค่าสำหรับการโต้ตอบและการนำทาง

โดยการจำลองสภาพแวดล้อมจริงเข้าไปให้เสมือนจริง โดยผ่านการรับรู้จากการมองเห็น การได้ยินเสียง สัมผัส โดยจะตัดขาดออกจากสภาพแวดล้อมปัจจุบัน เพื่อเข้าไปสู่ภาพที่จำลอง มีลักษณะสำคัญดังนี้ 1) วัสดุทัศนในการมอง รองรับความไวแสงระหว่าง 400 nm ถึง 800 nm ช่วงความสว่างกว้างตั้งแต่ 0.0001 cd/m² ถึง 10,000,000 cd/m² โดยรองรับความละเอียดสูงและคอนทราสต์สูง 60 Hz ต่อตาสำหรับการเคลื่อนไหวของศีรษะระนาบแนวนอนด้วยความเร็วในการหมุนสูงสุด 800°/s FOV 180°และ ระนาบแนวตั้ง FOV 140° 2) พื้นที่การเรนเดอร์แบบสเตอริโอสโคปิกได้สร้างจากการมองเห็นภาพสามมิติ โดยการให้หลักการเกี่ยวกับการมองเห็น สัมพันธ์ในมิติภาพเหมือนกันตลอดการรับภาพของผู้ใช้และ 3)

ความละเอียดหน้าจอรองรับการปรับแบบไดนามิก FOV โดยระบบติดตามดวงตา และรองรับระบบเสียงของการได้ยินของหูทั้งสองข้างในช่วงความถี่ ตั้งแต่ 20 Hz ถึง 20,000 Hz

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อังคณา สุวรรณจตุพร และศกภาพรณ ลิ้มปีไตรรัตน์ [14] วิจัยเรื่องแนวทางการออกแบบความเป็นจริงเสมือนเพื่อกระตุ้นการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ พบว่า นำเสนอปัจจัย 5 ด้าน คือ 1) ลดอาการการเมื่อยในขณะใช้ระบบความเป็นจริงเสมือนด้วยการแสดงผลรูปภาพในเกมให้มีความชัดเจนสามารถลดความเมื่อยในผู้สูงอายุได้ 100% 2) การวางตำแหน่งของส่วนติดต่อผู้ใช้เพื่อให้อ่านและใช้งานได้ง่าย 3) สร้างประสบการณ์ที่มีส่วนร่วมและสมจริงในโลกเสมือนจริง 4) การใช้เสียงเพื่อการมีส่วนร่วมของผู้ใช้มากที่สุดและ 5) การใช้รูปแบบความเร็วในการเปลี่ยนฉากเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมและปลอดภัยต่อการใช้งาน

กวาดล ศิริกองธรรม ประมุข บุญเสียงและอภิชนา นิมคุ้มภัย [15] วิจัยเรื่อง การบูรณาการมิทีเคชันในสื่อเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ระบบสุริยะ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลของสภาพแวดล้อมการเรียนรู้เสมือนจริงกับการเรียนรู้ปกติ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีประสิทธิภาพเท่ากับ 82.43/81.23 ของนักเรียนกลุ่มที่เรียนโดยใช้ระบบมัลติมีเดียเสมือนจริง สูงกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยวิธีปกติ

Ghabashneh, Bothra, Govindan, Ortega และ Rao [16] วิจัยเรื่อง Dragonfly: คุณภาพการรับรู้ที่สูงขึ้นสำหรับการเล่นวิดีโอ 360° อย่างต่อเนื่อง มีวัตถุประสงค์พัฒนาคุณภาพการรับรู้ของผู้ใช้สำหรับการเล่นวิดีโอ 360° พบว่า การลดปัญหาการบัฟเฟอร์ช้าจากการคาดการณ์ ช่องมองภาพที่หยุดชะงักของการเล่นหรือ แบนด์วิดท์เครือข่ายลดลงส่งผลกระทบต่อการเล่นวิดีโอระบบสามารถใช้วิธีการแบ่งวิดีโอ โดยการหลีกเลี่ยงการบัฟเฟอร์ช้าโดยการข้ามไทม์ที่ไม่มาถึงภายในระยะเวลาที่กำหนดทำให้ช่องมองภาพไม่สมบูรณ์และ ส่งผลให้การแสดงผลภาพลดลงโดยการสตรีมเฉพาะพื้นที่ที่ผู้ใช้มองเพื่อลดการใช้แบนด์วิดท์ ด้วยการฟังก์ชันยูทิลิตี้ในการเลือกไทม์และระดับคุณภาพที่เหมาะสมในการรองรับกรณีไทม์ที่ไม่สามารถโหลดผ่าน ช่วยให้สตรีมหลักคิงเนื้อหาแม่นยำขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 6 คน ได้แก่ 1.1) นักพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน 1.2) นักวิชาการด้านการพัฒนาเทคโนโลยี

ความจริงเสมือน 1.3) อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลด้านการประมวลผลภาพบนแพลตฟอร์ม 1.4) นักออกแบบ UX/UI รองรับแพลตฟอร์ม 1.5) ระบบนิเวศทางทะเล และ 1.6) นักวิชาการคอมพิวเตอร์ วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) 2) กลุ่มผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน 2.1) นักศึกษาคำลึงศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 20 คน ที่มีประสบการณ์การใช้เทคโนโลยี VR และ 2.2) นักศึกษาคำลึงศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 20 คน ไม่มีประสบการณ์การใช้เทคโนโลยี VR แบบเจาะจง (Purposive Sampling) [17], [18], [19]

3.2 วิธีการดำเนินวิจัยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การวิเคราะห์สารสนเทศและกรณีศึกษา (Content Development: Leatherback Turtle Case Study)

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis) จากการวิเคราะห์ปัญหาของผู้ใช้และการนำเสนอสารสนเทศเพื่อให้ตอบโจทย์ปัญหาข้างต้นเพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบข้ามอุปกรณ์ จึงดำเนินการวิเคราะห์สารสนเทศ จากข้อมูลสารสนเทศที่ต้องการสื่อสารการอนุรักษ์เต่ามะเฟืองสัตว์ทะเลหายากและใกล้สูญพันธุ์ที่มีความสำคัญต่อความหลากหลายทางชีวภาพสำหรับเป้าหมายการเรียนรู้ กลุ่มนักเรียน นักศึกษา นักท่องเที่ยว และบุคคลที่สนใจศึกษาทรัพยากรธรรมชาติ จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญชมงานวันสิ่งแวดล้อมโลก ประจำปี 2567 จังหวัดภูเก็ต และกิจกรรมวันทะเลโลก ประจำปี 2567 จังหวัดภูเก็ต พบว่า ผู้เข้าเยี่ยมชมมีความสนใจในการเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศทันสมัย อาทิ เทคโนโลยีความจริงเสริม เทคโนโลยีเสมือนจริง และมีความต้องการสารสนเทศเพิ่มเติมในรูปแบบสื่อมัลติมีเดียด้วยข้อจำกัดสถานที่แสดงนิทรรศการแต่ละหน่วยงานที่เข้าร่วมการติดตั้งตัวของผู้ใช้การเข้าถึงข้อมูลสารสนเทศด้วยอุปกรณ์ส่วนบุคคลเพื่ออำนวยความสะดวกและรับรู้ อาทิ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือการรับชมด้วยจอภาพสวมศีรษะ

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยได้คำนึงถึงระบบนิเวศการเรียนรู้ดิจิทัล โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องด้านทรัพยากรทางทะเล และบริบทการใช้งานเก็บข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึกจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดเป้าหมายของนวัตกรรมสำหรับการเรียนรู้และรองรับการใช้งานหน่วยงาน องค์กร สถานศึกษา การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการศึกษาพัฒนาแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์ เพื่อเป็นศูนย์การเรียนรู้การอนุรักษ์เต่ามะเฟือง จากการศึกษางานวิจัยด้านชีววิทยาทางทะเลและการจัดการอนุรักษ์ [6][7] รวบรวมข้อมูลเชิงประจักษ์จากเอกสารรายงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และ

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งซึ่งชี้ให้เห็นการเผยแพร่ความรู้แก่สาธารณชนและการสร้างการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเล ผลการศึกษาพบว่าปัญหาสำคัญได้แก่ 1) ผู้เยี่ยมชมนิทรรศการและผู้ที่สนใจยังขาดโอกาสในการมีส่วนร่วมกับการศึกษาสภาพแวดล้อมการเรียนรู้เสมือนจริง 2) ระบบการเรียนรู้ที่มีอยู่เดิมไม่สามารถรองรับการใช้งานได้หลากหลายอุปกรณ์ ส่งผลให้การเข้าถึงแหล่งสารสนเทศยังมีข้อจำกัดส่วนของเทคโนโลยีเสมือนจริงและ 3) เนื้อหาสารสนเทศ รูปแบบการนำเสนอขาดการกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้เชิงประสบการณ์

ส่วนที่ 2 การสังเคราะห์การนำเสนอเนื้อหาสำหรับการสร้างภาพต้นแบบจากภาพสองมิติสำหรับสร้างโมเดลเสมือนจริงจากภาพต้นแบบภาพสองมิติ



รูปที่ 2 แสดงการสร้างโมเดลสามมิติเพื่อพัฒนาภาพเสมือนจริง

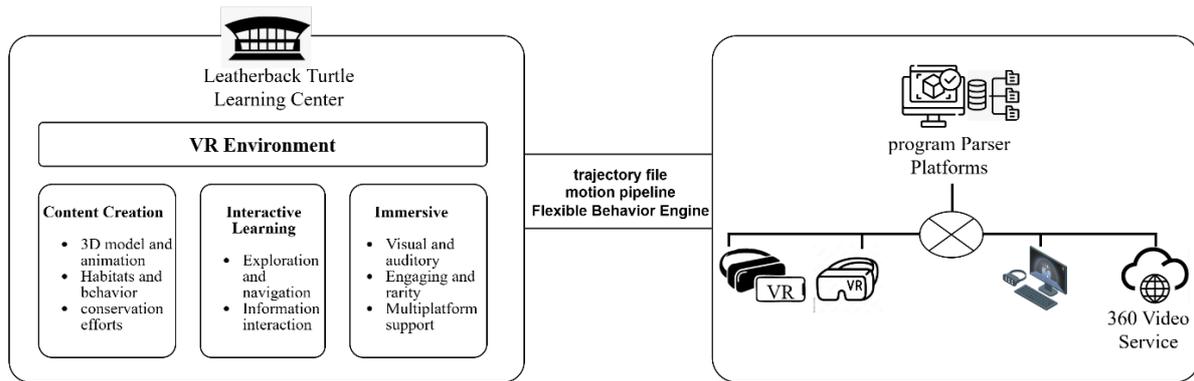
ส่วนที่ 3 พัฒนาศูนย์การเรียนรู้เต่ามะเฟืองด้วยโปรแกรม OpenXR เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C# เพื่อรองรับการทำงานข้ามอุปกรณ์ โดยนำวัตถุภาพสามมิติ ภาพวิดีโอที่สนใจเสียงบรรยายจัดในสภาพแวดล้อมรองรับเพื่อกำหนดส่วนปฏิสัมพันธ์ระหว่างแพลตฟอร์มกับอุปกรณ์รองรับการแสดงผลด้วยเทคโนโลยีเสมือน



รูปที่ 3 แสดงการพัฒนาแพลตฟอร์มโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริง

3.2.2 การศึกษาและการออกแบบระบบนิเวศดิจิทัล (Digital Ecosystem Design) ผู้วิจัยมีแนวคิดพัฒนาแพลตฟอร์มการเรียนรู้เสมือนจริงที่มีความสมจริงลักษณะรูปแบบภาพสามมิติ รวมถึงสื่อมัลติมีเดียสำหรับรองรับการใช้งานแบบข้ามแพลตฟอร์ม อาทิ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล สมาร์ทโฟนและรองรับอุปกรณ์ความจริงเสริม โดยใช้แนวคิดการออกแบบปฏิสัมพันธ์เชิงเสมือนที่ส่งเสริมการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ โดยนำเสนอกรอบแนวคิดและแพลตฟอร์ม "Cross-Device VR Ecosystem" ที่สามารถเชื่อมโยงการทำงานระหว่างอุปกรณ์ VR Desktop และอุปกรณ์VR แบบพกพา โดยใช้กรณีศึกษาเรื่องการอนุรักษ์เต่ามะเฟืองเป็นต้นแบบในการทดสอบระบบ เพื่อพิสูจน์ว่าแพลตฟอร์มนี้สามารถยกระดับการเรียนรู้และแก้ไขปัญหาการเข้าถึงเทคโนโลยีในบริบทของการอนุรักษ์ธรรมชาติ

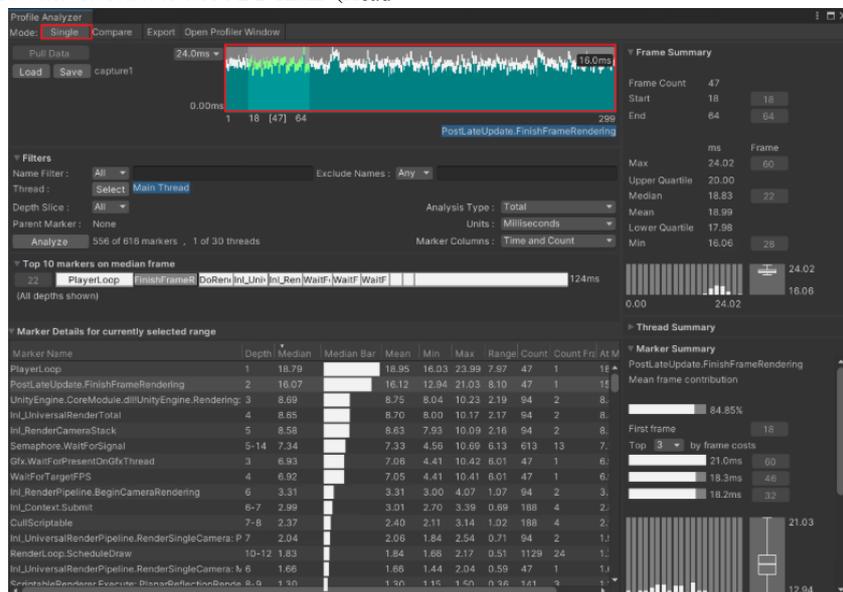
ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงสถาปัตยกรรมระบบนิเวศดิจิทัลสำหรับแพลตฟอร์มเทคโนโลยีความจริงเสมือน วิทยาลัยการศึกษาศูนย์การเรียนรู้ท่ามะเพ็ญ

จากการศึกษาสภาพแวดล้อมทางดิจิทัลของแพลตฟอร์มสำหรับทดสอบการข้ามอุปกรณ์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้บนสภาพแวดล้อมเดียวกันและข้ามอุปกรณ์จากแพลตฟอร์มที่ได้พัฒนา โดยทดสอบ Scene Data load โดยใช้ Unity profiler บันทึกไฟล์ data ในการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพเล่นซ้ำ ทำซ้ำจนได้ผลดีโดยผู้วิจัยทดสอบที่สุ่มตามมาตรฐาน ISO/ICE คือ 1) ค่า Frame Rate อาจก่อให้เกิดอาการเวียนศีรษะ (cybersickness) และลดคุณภาพการตอบสนองแบบเรียลไทม์ โดยเฉพาะในระบบ HMD (Head-

Mounted Display) Frame Rate (FPS) ไม่น้อยกว่ามาตรฐาน 60 FPS สำหรับ HMDs 90–120 FPS 2) เวลาระหว่างการกระทำของผู้ใช้กับการตอบสนองในระบบ (System Response Time) เช่น การขยับศีรษะหรือการสัมผัส ต่ำกว่า 20 ms หากต่ำกว่า < 50 ms ยอมรับได้ 3) ค่าความหน่วงระหว่างการเคลื่อนไหวของผู้ใช้กับการแสดงผลภาพ Latency (Motion-to-Photon Latency) ต่ำกว่า 20 ms สำหรับ HMD น้อยกว่าหรือเท่ากับ ≤ 50 ms สำหรับอุปกรณ์พกพา [20] [21]



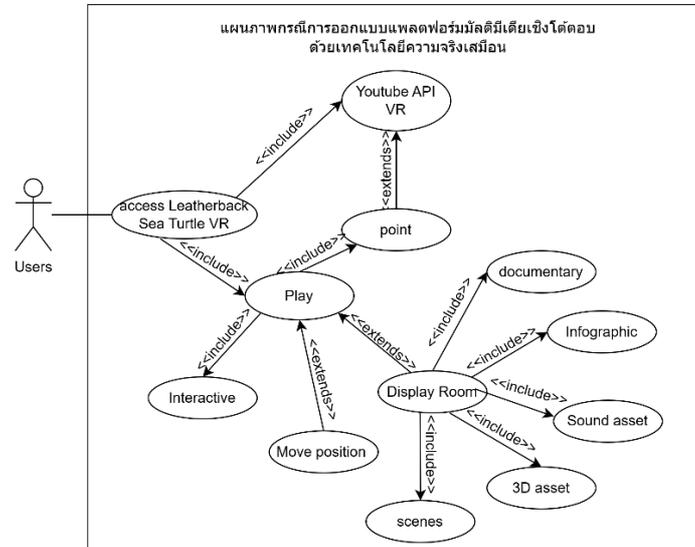
รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการทดสอบประสิทธิภาพของแพลตฟอร์ม Unity profiler

3.2.3 การวิเคราะห์การเรียนรู้แบบโต้ตอบ (Interactive Learning) แนวทางการศึกษาที่เน้นให้ผู้มีส่วนร่วมอย่างแข็งขันในกระบวนการเรียนรู้ แทนการรับข้อมูลแบบ Passive โดยผู้ใช้งาน "ลงมือทำ" ผ่านกิจกรรมหรือภารกิจโดยออกแบบและพัฒนาแพลตฟอร์มการเรียนรู้เชิงนวัตกรรมความ

จริงเสมือน โดยมุ่งเน้นให้เกิดการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ การควบคุมมุมมองผู้ใช้โดยการนำทางด้วยการสัมผัส การใช้คีย์บอร์ด การใช้อุปกรณ์ HMD การดึงข้อมูลเฉพาะส่วนสนใจ และสามารถใช้งานได้แบบข้ามแพลตฟอร์ม เพื่อรองรับผู้ใช้งานที่มีอุปกรณ์แตกต่างกัน จากการศึกษาออกแบบ

แผนภาพกรณีการใช้งานแพลตฟอร์ม (Use Case Diagram) โครงสร้างการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับฟังก์ชันหลักของ

แพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน



รูปที่ 6 แสดงภาพ use case กระบวนการปฏิบัติงานของแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน

ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงเนื้อหาหลักประกอบด้วย 4 ห้อง คือ ห้องกายวิภาคเต่ามะเฟือง ห้องถิ่นกำเนิดเต่ามะเฟือง ห้องสารคดีเต่ามะเฟือง และห้องศูนย์การช่วยเหลือ ฟังก์ชันช่วยเหลือเต่ามะเฟืองคิดค้น โดยมีฟังก์ชันโต้ตอบเชิงสถานการณ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสำรวจสภาพแวดล้อมและเคลื่อนตำแหน่ง ภายในพื้นที่ แพลตฟอร์มรองรับการสตรีมวิดีโอความจริงเสมือนผ่าน YouTube API VR ทำให้ผู้ใช้งานเข้าถึงวิดีโอ 360° อย่างต่อเนื่อง[15] มัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเสียง ภาพอินโฟกราฟิก ภาพจำลองสภาพแวดล้อมสามมิติ วิดีทัศน์สารคดี ทดสอบการรองรับมัลติมีเดีย

จากการพัฒนาแพลตฟอร์มผู้วิจัยได้ดำเนินการดังนี้
 1) เตรียมฉาก(scene) ประกอบด้วย ข้อมูลมัลติมีเดีย ภาพอินโฟกราฟิก เสียงบรรยาย ภาพสามมิติ วิดีทัศน์ โดยทดสอบการปรับสภาพแวดล้อม ขนาดเล็ก-กลาง (<1M tris สำหรับ PC, 200k tris สำหรับทดสอบ MetaQuest2)
 2) การปรับ assets ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมทางดิจิทัลของอุปกรณ์ Texture Mesh: Draco compression ร่วมกับ LOD สำหรับ Preload assets streaming
 3) ตั้งค่า Frame target: 90–120 Hz (PC), 72–90 Hz (Quest2) และ Latency <20 ms (PC), <30 ms (Quest2)

โดยพัฒนาส่วนปฏิสัมพันธ์รองรับของแพลตฟอร์ม โดยกำหนด มัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์: กรณีศึกษา ศูนย์การเรียนรู้เต่ามะเฟือง ด้วยกระบวนการทดสอบดังนี้ 1) ทดสอบการกำหนดองศาอิสระ 6 องศา (Six Degrees of Freedom: 6 DoF) 2) ฟังก์ชันปฏิสัมพันธ์มัลติมีเดียเชิงโต้ตอบ (Interactive Functions) อาทิ

เลือกวัตถุ เลื่อนมุมมอง 360° ซুমเข้า-ออก เปิด/ปิดเสียงหรือคำบรรยายโต้ตอบกับผู้ใช้ (ปุ่ม, เมนู) เล่น/หยุด/ย้อนวิดีโอ การทดสอบใช้อัลกอริทึมการโต้ตอบ โดยกระบวนการประมวลผลสำหรับการพัฒนาและการออกแบบเพื่อช่วยให้ผู้ใช้เกิดประสบการณ์เชิงปฏิบัติจริงในสภาพแวดล้อมเสมือนจริงจากห้องบรรยายของศูนย์การเรียนรู้ นำเสนอมิติความรู้ ภาพอินโฟกราฟิก เสียงช่วยเรื่องบรรยาย การบรรยาย สารคดี รวมถึงเสริมความรู้ด้านการอนุรักษ์เต่ามะเฟือง ฟังก์ชันการช่วยเหลือปฏิบัติการช่วยเหลือเพื่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ โดยการเรียนรู้ด้วยอุปกรณ์ที่มีของแต่ละรายบุคคล

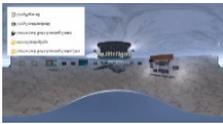
3.2.4 การทดสอบแบบจำลองและการประเมินแพลตฟอร์ม แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผู้เชี่ยวชาญ จากการพัฒนาแพลตฟอร์ม ได้ดำเนินการทดสอบและประเมินผลได้แก่ 1) การสารคดีและทดสอบการใช้งาน โดยนำแพลตฟอร์มเวอร์ชันทดลองไปทดสอบกับอุปกรณ์ดังนี้ ชุดอุปกรณ์สวมศีรษะ VR (Meta Quest2) เพื่อประเมินความเสถียรและประสิทธิภาพการทำงานของระบบและ 2) การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้การคัดเลือกแบบเจาะจง ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 คน ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ (1) นักพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน (2) นักวิชาการด้านการพัฒนาเทคโนโลยีความจริงเสมือน (3) อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลด้านการประมวลผลภาพบนแพลตฟอร์ม (4) นักออกแบบ UX/UI รองรับแพลตฟอร์ม (5) ระบบนิเวศทางทะเล และ (6) นักวิชาการคอมพิวเตอร์ เครื่องมือที่ใช้ในแบบประเมินประสิทธิภาพ

พัฒนาตามเกณฑ์ด้านคุณภาพเนื้อหา การออกแบบประสบการณ์ผู้ใช้ ความเหมาะสมทางด้านเทคนิค และการส่งเสริมการเรียนรู้ ข้อมูลที่ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อนำมาสรุประดับประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มตามเกณฑ์การประเมินระดับความพึงพอใจ เพื่อนำข้อคิดเห็นและเสนอแนะมาปรับปรุงด้านแอปพลิเคชันแพลตฟอร์ม[17]

ส่วนที่ 2 ประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์กำหนดกลุ่มผู้ใช้แพลตฟอร์ม นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีดิจิทัลชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4 จำนวน 60 คน กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยการใช้งานอุปกรณ์ 2 กลุ่ม สำหรับทดสอบการใช้แพลตฟอร์มเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ระหว่างกลุ่ม Group A และ Group B ให้ข้อคิดเห็นของของกลุ่มผู้ทดลองใช้

ตารางที่ 2 แสดงกลุ่มทดลองสำหรับทดสอบการใช้แพลตฟอร์มข้ามอุปกรณ์

Group A	Group B
<p>VR Desktop</p>  <p>[cross]</p> <p>MetaQuest 2</p> 	<p>VR Meta Quest 2</p>  <p>[cross]</p> <p>MetaQuest 2 360°</p> 

โดยการเปรียบเทียบการใช้งานข้ามอุปกรณ์ตามรูปแบบปฏิสัมพันธ์ของแต่ละกลุ่มดังนี้ 1) ทดสอบการกำหนดองศาอิสระ 6 องศา และ 2) ปฏิสัมพันธ์มัลติมีเดียเชิงโต้ตอบ (Media Interactive functions)

4. ผลการศึกษาและผลดำเนินงาน

4.1 จากการศึกษาระบบนิเวศอุปกรณ์ที่รองรับการแสดงผลเทคโนโลยีเสมือนจริง

จากการทดสอบการใช้งานบนอุปกรณ์สรุปผลการทดสอบการรองรับมัลติมีเดียเพื่อโต้ตอบผ่านเทคโนโลยีเสมือนจริงบนอุปกรณ์ แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มเสมือนจริงสองรูปแบบ คือ VR Desktop และ Meta Quest 2 โดยทำการทดสอบทั้งหมด 50 ครั้งต่อแพลตฟอร์ม เพื่อ

เปรียบเทียบตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ 1) เวลาตอบสนอง (Response Time) 2) ความหน่วงเวลา (Latency) 3) อัตราเฟรม (Frame Rate) 4) การใช้ทรัพยากรและ 5) เวลาโหลด (Load Time) โดยเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์เปรียบเทียบตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่สำคัญตามเวลา

Metrics	Platform	Mean	S.D.	95% CI (±)
Response Time (ms)	VR Desktop	9.84	0.79	0.22
	Meta Quest 2	20.02	2.28	0.63
Latency (ms)	VR Desktop	13.44	0.41	0.11
	Meta Quest 2	24.42	2.17	0.60
Frame Rate (FPS)	VR Desktop	107.83	5.99	1.66
	Meta Quest 2	86.63	3.01	0.83

จากตารางพบว่า VR Desktop มีค่าเฉลี่ยด้านเวลาเร็วกว่าประมาณ 1.8–2.0 เท่า และมี ช่วงความเชื่อมั่น (95% CI) แคบกว่าของ Meta Quest 2 อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในตัวชี้วัด Latency ซึ่ง VR Desktop มีค่า CI เพียง ±0.11 ms เทียบกับ Meta Quest 2 ที่ ±0.60 ms แสดงให้เห็นถึงความเสถียรเชิงเวลา (Temporal Stability) ที่สูงกว่า ในด้านประสิทธิภาพของปริมาณงาน (Throughput) และการแสดงผลภาพ (Frame Rate) พบว่า VR Desktop มีค่า Throughput สูงกว่า Meta Quest 2 ถึง 5.4 เท่า (124.97 Mbps เทียบกับ 23.12 Mbps) และมี Frame Rate สูงกว่าเกือบ 21 FPS และการลดความเสี่ยงของการเกิดอาการไซเบอร์ซิกเนส (Cybersickness) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพปริมาณงานและการสื่อสาร (ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ FPS)

Platform	Mean	S.D.	Frame Rate (FPS)
VR Desktop	124.97	12.27	107.83
Meta Quest 2	23.12	1.50	86.63

ในส่วนของการใช้ทรัพยากรและเวลาโหลด (Load Time) VR Desktop ใช้เวลาโหลดเฉลี่ยเพียง 6.53 วินาที ซึ่งเร็วกว่าของ Meta Quest 2 ที่ 12.31 วินาที เกือบสองเท่า ขณะที่การใช้ CPU และ RAM เฉลี่ยของทั้งสองแพลตฟอร์มอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แต่ Meta Quest 2 มีการใช้ CPU สูงกว่า (51.25%) ซึ่งสะท้อนถึงข้อจำกัดของระบบประมวลผลแบบ Mobile SoC ที่มีพลังงานและประสิทธิภาพจำกัด ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการใช้ทรัพยากรระบบและการวิเคราะห์เวลาโหลด (ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ FPS)

Platform	Mean CPU Usage (%)	Mean CPU Usage SD (%)	Mean RAM Usage (GB)	Load Time (s)	Load Time 95% CI (±) s
VR Desktop	12.27	1.50	107.83	6.53	0.83
Meta Quest 2	51.25	1.50	86.63	12.31	0.63

VR Desktop	44.35	4.58	2.38	6.53	0.17
Meta Quest 2	51.25	3.03	1.93	12.31	0.28

จากผลการทดสอบเชิงปริมาณชี้ให้เห็นว่า VR Desktop มีสมรรถนะเชิงเวลา ความหน่วงต่ำ และ Throughput สูงกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพเชิงเทคนิคที่เหมาะสมต่อการใช้งานในระบบการเรียนรู้และฝึกอบรมเสมือนจริงที่ต้องการความต่อเนื่องและความเสถียรของข้อมูลสูง

4.2 การประเมินประสิทธิภาพแพลตฟอร์มดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ

การประเมินประสิทธิภาพแพลตฟอร์มร่วมกับอุปกรณ์ดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 6 คน โดยกำหนดการทดสอบ 2 กลุ่มแพลตฟอร์ม ดังนี้ D1) การใช้เทคโนโลยีเสมือน VR360° ด้วยอุปกรณ์ MetaQuest 2 D2) การใช้แพลตฟอร์ม VR Desktop เคลื่อนตำแหน่งรับชมด้วยระบบมัลติมีเดีย D3) การใช้ VR MetaQuest 2 กำหนดการกิจช่วยเหลือแต่ละเพื่อลดอ้วนประมง ด้วยวิธีการประเมินประสิทธิภาพดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการประเมินประสิทธิภาพต้นแบบแพลตฟอร์มดำเนินการ โดยผู้เชี่ยวชาญ

Performance	D1	D2	D3
Technical	4.22	4.56	4.06
User Experience	4.56	4.56	4.22
Functional	4.22	4.28	4.44
\bar{x}	4.33	4.46	4.24
S.D.	0.37	0.42	0.46

ผลการประเมินประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มเทคโนโลยีความจริงเสมือนจากผู้เชี่ยวชาญ จากการประเมินประสิทธิภาพแพลตฟอร์มเทคโนโลยีความจริงเสมือนด้วยอุปกรณ์ 3 รูปแบบ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของ D2 การใช้แพลตฟอร์ม VR Desktop เคลื่อนตำแหน่งรับชมด้วยระบบมัลติมีเดีย ในภาพรวมเท่ากับ 4.46 อยู่ในระดับมาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.42 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละด้านจะเห็นได้ว่า 1) ด้าน Technical ของ D2 เท่ากับ 4.52 อยู่ใน ระดับมากที่สุด 2) ประสิทธิภาพด้าน User Experience ของ D1 และ D2 เท่ากับ 4.56 อยู่ในระดับมากที่สุด และ 3) ด้าน Functional ของ D3 และ D4 เท่ากับ 4.44 อยู่ในระดับมาก ข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพ D1) การให้ความรู้พื้นฐาน ส่วนของ VR360 องศา เพื่อให้ผู้ใช้การจับบริบทของการอนุรักษ์ ส่วนของการโหลดผลการแสดงผลมีการผิดพลาดเล็กน้อยจากความหน่วงของภาพ สามารถควบคุมระบบเสียง ภาพ ผ่านอุปกรณ์และการเข้าถึงแพลตฟอร์มไปยังอุปกรณ์อื่นได้ D2)

การควบคุมการรับชมเคลื่อนตำแหน่งจากศูนย์การเรียนรู้แต่ละห้องสามารถสำรวจจุดเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดด้วย VR Desktop การโหลดภาพ สภาพแวดล้อมใช้อุปกรณ์ควบคู่กับการมองเห็นมีความเสถียร D3) การสร้างกิจกรรมระหว่างการใช้ VR MetaQuest 2 ภาวะกิจช่วยเหลือแต่ละเพื่อลดอ้วนประมง สามารถดำเนินการได้สำหรับอาจต้องใช้เวลาหากผู้ใช้ไม่มีประสบการณ์ในการใช้อุปกรณ์ MetaQuest 2

4.3 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์

การศึกษาดำเนินการผ่านกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานแพลตฟอร์ม นักศึกษามหาวิทยาลัยชั้นปีที่ 3 และชั้นปีที่ 4 จำนวน 60 คน กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยผู้ทดสอบมีอายุระหว่าง 21-22 ปี การวัดการประเมินความพึงพอใจการใช้อุปกรณ์บนแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์ สำหรับการแปลความหมายของแบบสอบถามใช้ค่าเฉลี่ยประเมินการพึงพอใจ [17] การใช้งานแพลตฟอร์ม 2 กลุ่ม ดังนี้ 1) Group A ระหว่าง VR Desktop [cross]VR MetaQuest2 360° 2) Group B ระหว่าง VR Meta Quest 2 [cross] VR Meta Quest 2 360°

ตารางที่ 7 แสดงการประเมินความพึงพอใจการใช้งานแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์โดยกลุ่มผู้ทดลอง

Evaluation Items	Group A	Group B
User Interaction during Platform Use	4.63	4.70
Platform–User Interactivity	4.33	4.47
Interactive Multimedia Rendering Performance	4.47	4.60
Overall User Satisfaction	4.33	4.50
\bar{x}	4.44	4.57
S.D.	0.71	0.50

จากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานแพลตฟอร์มมัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์ในกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 60 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มทดลอง (Group A และ Group B) ผลการวิเคราะห์พบว่า กลุ่มผู้ใช้งานทั้งสองกลุ่มมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก โดยคะแนนเฉลี่ยภาพรวมของ Group A เท่ากับ 4.44 อยู่ในระดับมาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.71 และ Group B เท่ากับ 4.57 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า Group B ซึ่ง

เป็นการทดสอบด้วยอุปกรณ์ VR Meta Quest 2 ทั้งสองรูปแบบ มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่า Group A โดยเฉพาะด้านการแสดงผล มัลติมีเดียเชิงโต้ตอบ (Group A = 4.47; Group B = 4.60) และด้านความพึงพอใจภาพรวม (Group A = 4.33; Group B = 4.50) ซึ่งสะท้อนความคิดเห็นถึงความเสถียรและความถี่ไหลของระบบเมื่อใช้งานบนอุปกรณ์เดียวกันในระบบ Cross-device

ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงของผู้ใช้ (Accessibility) การพัฒนาแพลตฟอร์มการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือน เนื่องจากผู้ใช้งานบางรายอาจมีภาวะข้อจำกัดทางร่างกาย ความล่าช้าทางสายตา หรือมีความเสี่ยงต่ออาการไม่สบายจากการใช้งาน VR เช่น เวียนศีรษะและคลื่นไส้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสบการณ์ และประสิทธิภาพการเรียนรู้ งานวิจัยนี้จึงเลือกออกแบบให้ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ใช้อินเทอร์เฟซที่อ่านง่าย และรองรับการใช้งานบนอุปกรณ์ 2 รูปแบบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้งานตามความเหมาะสมและข้อจำกัดของผู้ใช้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาผู้ใช้ไม่พบภาวะหยุคกลางกัน

5. บทสรุปและการอภิปราย

จากการศึกษาระบบนิเวศดิจิทัลสำหรับแพลตฟอร์ม มัลติมีเดียเชิงโต้ตอบด้วยเทคโนโลยีความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์ พบว่าแพลตฟอร์มสามารถรองรับการนำเสนอภาพสามมิติ วิดีทัศน์ เสียง และการปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมเสมือนจริงได้อย่างสอดคล้องกับมาตรฐาน ISO/IEC [22] โดยเป็นการบูรณาการองค์ประกอบด้านเทคโนโลยีดิจิทัล อุปกรณ์เครือข่าย เนื้อหาดิจิทัล ระบบสื่อสาร การประเมินผล และการสนับสนุนผู้เรียน ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดระบบนิเวศการเรียนรู้เสมือนจริง 10 องค์ประกอบตามงานของ [9] ผลการทดสอบประสิทธิภาพสะท้อนมาตรฐาน QoE และสอดคล้องกับงานของ Ghabashneh et al. [16] ที่ชี้ให้เห็นความสำคัญของ Latency และ Bandwidth โดยพบว่าผลการแสดงผลสื่อ 360° อย่างต่อเนื่องต้องอาศัย Throughput ที่เสถียรและการจัดการ Buffer ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่พบว่า VR Desktop มี Throughput สูงกว่า Meta Quest 2 ถึง 5.4 เท่า ส่งผลให้การแสดงผลภาพและวิดีโอมีความต่อเนื่องมากกว่า

ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญสอดคล้องกับงานของ [15] ที่ระบุว่าสื่อเสมือนจริงช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้พบความแตกต่างจากงานวิจัยทั่วไป โดยแพลตฟอร์ม Immersive VR (Meta Quest 2) แม้ให้ประสบการณ์การเรียนรู้ที่ดีกว่าในเชิงการดื่มด่ำ แต่มีข้อจำกัดด้านความเสถียรและประสิทธิภาพทางเทคนิคเมื่อเทียบกับ VR Desktop ทั้งนี้ VR แบบสวมศีรษะยังคงให้ระดับการ

ปฏิสัมพันธ์ ความดื่มด่ำ และการรับรู้เชิงประสาทสัมผัสที่สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับหลักทฤษฎีด้าน Immersive Learning

ข้อค้นพบเชิงสังเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาแพลตฟอร์มความจริงเสมือนแบบข้ามอุปกรณ์มีศักยภาพในการสนับสนุนประสบการณ์การเรียนรู้ด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยสอดคล้องกับแนวคิดของ Kanghae et al. และ Ghabashneh, Bothra, Govindan, Ortega และ Rao [15] ที่ระบุว่า การลดความหน่วงและการจัดการแบนด์วิดท์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิดีโอ 360° และส่งเสริมความสมจริงและการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ ทั้งยังสอดคล้องกับหลักการออกแบบ UX ด้าน VR เช่น การลด Cyber Sickness การออกแบบ UI ให้อ่านง่าย และการเสริมการมีส่วนร่วมผ่านเสียงและกิจกรรม ซึ่งมีผลต่อการจดจำและการมีส่วนร่วมของผู้เรียน รวมถึงสอดคล้องกับงานของ อังคณา สุวรรณจตุพร และศกภาพรณ ภูมิไพโรจน์ [14] ที่ยืนยันว่าการปรับความละเอียดของภาพช่วยลดอาการเวียนศีรษะจากการใช้งาน VR ได้อย่างมีนัยสำคัญ

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงออกแบบแพลตฟอร์มให้ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ใช้อินเทอร์เฟซที่อ่านง่าย และรองรับการใช้งานบนอุปกรณ์สองรูปแบบ อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยยังมีข้อจำกัดด้านการเข้าถึง (Accessibility) เนื่องจากผู้ใช้งานกลุ่มอาจมีข้อจำกัดทางร่างกาย ความล่าช้าทางสายตา หรือความเสี่ยงต่ออาการไม่สบายจากการใช้งาน VR แม้ว่าการศึกษานี้จะไม่พบผู้ใช้ที่มีอาการหยุดการใช้งานกลางคันก็ตาม ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อเพื่อประเมินประเด็นด้าน Accessibility ในกลุ่มผู้ใช้ที่มีความหลากหลายมากขึ้น รวมถึงการพัฒนาให้รองรับอุปกรณ์ XR ขั้นสูงในอนาคต เช่น Vive Focus Vision, Meta Quest 3/3S และ Varjo XR-4 [23] ตลอดจนการขยายผลแพลตฟอร์มที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปขยายผลเพื่อใช้ในพิพิธภัณฑ์สัตว์น้ำ ศูนย์การเรียนรู้ธรรมชาติ หรือการบูรณาการกับหลักสูตรแกนกลางระดับประเทศ [24] เพื่อสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล และยกระดับมาตรฐานสื่อการเรียนการสอนของประเทศในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ศูนย์ประสานงาน อพ.สธ. – มรก.ภูเก็ตและ ศูนย์วิจัยทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามันตอนบนที่ให้การสนับสนุนและความอนุเคราะห์ร่วมมือทำให้วิจัยเสร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Kumar, "Virtual Reality Statistics 2025: Users & Trends," May 2025. [Online]. Available:

- <https://www.demandsage.com/virtual-reality-statistics>. [Accessed: May 30, 2025].
- [2] S. Mystakidis, “Metaverse,” *Encyclopedia*, vol. 2, no. 1, pp. 486–497, 2022. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031>
- [3] S. Kaddoura and F. Al Husseiny, “The rising trend of Metaverse in education: Challenges, opportunities, and ethical considerations,” *PeerJ Computer Science*, vol. 9, p. e1252, 2023. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1252>
- [4] M. M. Saifulizam, I. Ismail, W. M. A. F. Wan Hamzah, M. Mat Amin, and H. Kolivand, “A Systematic Literature Review: User Experience in Virtual Reality Prototyping,” *Journal of Advanced Research Design*, vol. 123, no. 1, pp. 91–107, 2024. [Online]. Available: <https://akademiabaru.com/submit/index.php/ard/article/view/5631/5345>
- [5] T. Alsop, “Number of AR and VR users in the United States from 2019 to 2023,” *Statista*, Nov. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/1017008/united-states-vr-ar-users/>
- [6] Department of Marine and Coastal Resources, “DMCR INFOGRAPHIC,” Jun. 26, 2024. [Online]. Available: <https://www.dmc.go.th/detailAll/70273/nws/188>
- [7] H. Kanghae, K. Thongprajukaew, P. Suraswadi, A. Namwang, A. Reungkhajorn, G. Wongwilai, B. Intaring, and C. Chamvikaipong, “First successful head-start program of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*) in Thailand and proposed dietary strategy,” *Zoo Biology*, vol. 43, no. 1, pp. 1–13, 2024. <https://doi.org/10.1002/zoo.21800>
- [8] W. Phromwong and P. Palapai, “Development of a Virtual Learning Ecosystem for Distance Education,” *Electronic Journal of Innovative Distance Learning*, vol. 15, no. 1, pp. 27–40, 2025. [Online]. Available: <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/e-jodil/article/view/275481>
- [9] J. Jerald, *The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality*, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2015. doi: 10.1145/2792790
- [10] M. Sadeghi, “Creating virtual reality environments at the edge of the metaverse,” In Proc. HICSS of the 58th Hawaii International Conference on System Sciences '01, 2025, p. 7070-7079
- [11] Plant Genetic Conservation Project under the Royal Initiative, Phuket Rajabhat University, “Goal 14: Life Below Water,” Jan. 18, 2025. [Online]. Available: <https://rspg.pkru.ac.th/sdgs/>
- [12] K. Kitrungpaisan, *Virtual Reality Communication Technology and Digital Literacy of Thai People*, Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD), 2023. [Online]. Available: https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewcontent.cgi?article=12215&context=c_hulaetd
- [13] F. Mérienne, “Virtual Reality: Principles and Applications,” *Encyclopedia of Computer Science and Technology*, Taylor and Francis, pp. 1–11, 2017. doi: 10.1081/E-ECST2-140000194
- [14] A. Suwannachaturporn and P. Limprairat, “Design Guidelines of Virtual Reality to Stimulate Physical Activity for Elderly,” *Journal of Information Science and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 12–27, 2023. [Online]. Available: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/article/view/256517>
- [15] P. Sirikongtham, P. Boonsiang, and A. Nimkumpai, “Integration of gamification in virtual reality media to enhance learning of the solar system,” *Journal of Information Science and Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 71–77, 2025. [Online]. Available: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/article/view/259512>
- [16] E. Ghabashneh, C. Bothra, R. Govindan, A. Ortega, and S. Rao, “Dragonfly: Higher perceptual quality for continuous 360° video playback,” in Proc. *ACM SIGCOMM 2023 Conf.*, New York, NY, USA, vol. 116, no. 47, pp. 23499–23504, 2023. <https://doi.org/10.1145/3603269.3604876>
- [17] R. Likert, “The Method of Constructing an Attitude Scale,” in *Reading in Attitude Theory and Measurement*, M. Fishbein, Ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, pp. 90–95, 1967.
- [18] B. Srisa-ard, *Introduction to Research*. (10th Ed.), Bangkok: Suweeriyasan, 2017.
- [19] V. Kanlaya, *Statistical Analysis: Statistics for Decision Making*, 5th ed. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University, 2001.
- [20] Unity Technologies, *Optimize your game with Unity Profile Analyzer*, 2023. [Online]. Available: <https://unity.com/how-to/optimize-your-game-unity-profile-analyzer>
- [21] P. Kourtesis, A. Papadopoulou, and P. Roussos, “Cybersickness in virtual reality: The role of individual

differences, its effects on cognitive functions and motor skills, and intensity differences during and after immersion,” *Virtual Worlds*, vol. 3, no. 1, pp. 62–93, 2024. doi: 10.3390/virtualworlds3010004

- [22] ISO/IEC, ISO/IEC 23843:2023 — *Information technology — Guidelines for developing VR and AR-based education and training systems*, Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2023.
- [23] worldviz , “2025 WorldViz VR Budgeting Guidelines for Scientific VR Labs .” worldviz.com , February 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.worldviz.com/post/worldviz-vr-budgeting-guidelines-for-scientific-vr-labs>. [Accessed: Feb 28, 2025].
- [24] Office of the National Economic and Social Development Council (NESDC), “National Strategy 2020-2037 Level 2 Plans and Level 3 Plans.”, nesdc.go.th, May 2024. [Online]. Available: <https://www.nesdc.go.th/wordpress/wp-content/uploads/2025/11/PPT-PDPC-020567.pdf>. [Accessed: May 30, 2025].



แนวทางการพัฒนาเกมซอฟต์แวร์อย่างรวดเร็วบนระบบนิเวศแบบเว็บของ Unity The Guideline For Rapid Software Game Development On Unity Web-based Ecosystem

วาทิต สีมakupต์, ภูวดล ศิริกองธรรม

Vatit Simakupt, Puwadol Sirikongtham

si.vatit_st@tni.ac.th, puwadol@tni.ac.th

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น กรุงเทพฯ

Faculty of Information Technology, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok

Received: September 30, 2025; Revised: December 10, 2025; Accepted: December 15, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT – This study proposes a guideline for rapid content-based game development within the Unity web ecosystem, focusing on processes that clearly separate team roles to improve flexibility, usability, and collaboration efficiency. By comparing traditional CMS-based approaches with a web-driven process, the findings show that the proposed method reduces overall development time by multiple of times, enables independent task execution, and ensures stronger protection of the game’s core source code. The proposed process thus provides a practical and scalable solution for modern game production, where speed, security, and adaptability are critical.

KEY WORDS -- Game Development, Unity, Web Application, Game Content, Workflow

บทคัดย่อ -- งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาเกมเชิงเนื้อหาที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพภายใต้ระบบนิเวศแบบเว็บของ Unity โดยเน้นการสร้างกระบวนการทำงานที่แยกบทบาทของทีมงานออกจากกันอย่างชัดเจน เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความสะดวก และลดความซับซ้อนในการทำงานร่วมกัน ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบ CMS ดั้งเดิมกับกระบวนการทำงานที่ขับเคลื่อนด้วยเว็บ พบว่าระบบใหม่นี้สามารถลดเวลาในการทำงานโดยรวมได้หลายเท่าตัว เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานแบบอิสระ และยังช่วยปกป้องซอร์สโค้ดหลักของโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางที่นำเสนอจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเกมสมัยใหม่ที่ต้องการความรวดเร็ว ความปลอดภัย และการขยายตัวในอนาคต

คำสำคัญ -- การพัฒนาเกม, Unity, เว็บแอปพลิเคชัน, เนื้อหาเกม, กระบวนการทำงาน

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการพัฒนาเกมในปัจจุบันมีการพัฒนาเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและซับซ้อนขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในกลุ่มเกมที่เน้นเนื้อหา (content-based games) ซึ่งต้องมีการสร้าง

และอัปเดตเนื้อหาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ผู้เล่นได้รับประสบการณ์ที่สดใหม่และน่าสนใจ การสร้างเนื้อหาในลักษณะนี้ไม่สามารถชะลอหรือล่าช้าได้ เพราะจะส่งผลกระทบต่อความต่อเนื่องของเกมและความพึงพอใจของผู้เล่น

ปัจจุบันเกมขนาดใหญ่ส่วนมากมักถูกออกแบบโดยเลือกใช้ระบบสถาปัตยกรรมแบบเซิร์ฟเวอร์-ไคลเอนต์ (server - client architecture) ซึ่งทำให้เนื้อหาที่ปรับปรุงล่าสุดสามารถส่งไปยังผู้เล่นได้ทันที การพัฒนาเนื้อหาในลักษณะนี้มักมีความท้าทายหลายประการ หนึ่งในนั้นคือการใช้เครื่องมือจัดการและแก้ไขเนื้อหาภายในตัวเกม เช่น Unity Editor แม้ว่าเครื่องมือเหล่านี้จะทรงพลังและมีฟังก์ชันครอบคลุม แต่ก็ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ต้องใช้ทรัพยากรเครื่องสูง ใช้งานยากสำหรับผู้ที่ไม่ชำนาญด้านเทคนิค และไม่ยืดหยุ่นเท่าการสร้างอินเทอร์เน็ตเฟซบนเว็บ

นอกจากนี้ การให้สิทธิ์เข้าถึงโค้ดต้นฉบับของเกมแก่ทีมศิลปินหรือผู้สร้างเนื้อหาเพียงเพื่อให้เข้าถึงการใช้งาน Unity Editor อาจเป็นความเสี่ยงด้านทรัพย์สินทางปัญญาและความซับซ้อนในการจัดการ ในทางกลับกัน เทคโนโลยีเว็บสมัยใหม่สามารถช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เว็บแอปพลิเคชันสามารถเข้าถึงได้ง่าย คิดตั้งและปรับใช้งานสะดวก และสามารถสร้างเครื่องมือแก้ไขเนื้อหาให้อิสระออกจากเอนจินหลัก ทำให้โปรแกรมเมอร์และศิลปินสามารถทำงานแยกกันโดยไม่เกิดคอขวดในการพัฒนา

ด้วยความสามารถของ Unity Web-Target [1] ในการสามารถทำงานร่วมกับ JavaScript นักพัฒนาสามารถปรับแต่งควบคุมพฤติกรรมเกมในเวลาจริงได้ ทำให้สามารถทดสอบเนื้อหาใหม่ได้ทันที โดยใช้ข้อมูลทั้งจากเซิร์ฟเวอร์หรือจากภายในเครื่องผู้ใช้เอง ซึ่งยังทำให้ทีมงานสามารถสร้างเนื้อหาภายในสภาพแวดล้อมแยกส่วน (sandbox) ส่งผลให้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกัน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่เคยมีแนวทางที่เน้นการสร้าง Workflow ที่ครอบคลุมและยืดหยุ่นสำหรับการพัฒนาเกมเชิงเนื้อหาบน Unity Web-based Ecosystem งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสำรวจและกำหนดแนวทางการพัฒนาระบบสำหรับแก้ไขเนื้อหาแบบเว็บสำหรับเกม Unity โดยศึกษาวิธีการจัดข้อมูลในเวลาจริง รองรับการทดสอบเนื้อหาแบบแยกส่วน (sandbox) และกำหนดรูปแบบการทำงานที่เหมาะสมสำหรับเกมแต่ละประเภท โดยมีสมมุติฐานคาดหวังให้ได้ผลลัพธ์ในการเพิ่มความรวดเร็วในการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานร่วมกัน อาทิเช่น การลดการใช้เวลา และจำนวนบุคคลกรในการทำงานร่วมกัน เป็นต้น

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Workflow การพัฒนาเกม

การพัฒนาเกมเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีหลายขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนยังต้องอาศัยความร่วมมือระหว่างนักพัฒนาระบบ ศิลปิน และผู้สร้างเนื้อหา เพื่อให้เกมออกมาอย่างสมบูรณ์และน่าสนใจ โดยทั่วไปกระบวนการพัฒนาเกมสามารถแบ่งออกเป็น ขั้นตอนหลัก (Phases) และ พื้นที่การทำงานเฉพาะด้าน (Areas)

2.1.1 ขั้นตอนหลักในการพัฒนาเกม (Phases)

แนวคิด (Concept) - ขั้นตอนนี้เป็น การวางแนวคิดของเกม กำหนดประเภทเกมและรูปแบบการเล่น รวมถึงเป้าหมายของผู้เล่นและเนื้อเรื่องหลัก การวางแนวคิดที่ชัดเจนจะช่วยให้ทีมงานสามารถกำหนดกรอบการพัฒนาและทรัพยากรที่ต้องใช้ได้อย่างแม่นยำ

การออกแบบ (Design) - ในขั้นตอนนี้ นักออกแบบเกมจะสร้างแผนผังระบบเกม (game design document) ระบุโครงสร้างเกม เมคานิกส์ของเกม ตัวละคร และด่านหรือเลเวลต่างๆ รวมถึงการวางโครงสร้างข้อมูลระบบเนื้อหา ที่สามารถเพิ่มหรืออัปเดตได้อย่างต่อเนื่อง

การพัฒนา (Implementation) - ขั้นตอนที่นักพัฒนาโปรแกรมเมอร์จะทำการเขียนโค้ดเกม สร้างระบบและเมคานิกส์ตามแผนงานที่กำหนด และการสร้างเนื้อหามักต้องทำงานร่วมกับศิลปินและผู้สร้างเนื้อหา เพื่อให้ภาพกราฟิก เสียง และข้อมูลในเกมตรงตามแนวคิด

การทดสอบ (Testing) - การทดสอบเกมเป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อค้นหาข้อผิดพลาด ตรวจสอบความถูกต้องของระบบสมดุลของเกม และประเมินประสบการณ์ผู้เล่น

การเผยแพร่ (Publishing) - หลังจากเกมผ่านการทดสอบและปรับปรุงแล้ว เกมจะถูกเผยแพร่สู่ผู้เล่น ซึ่งในกรณีของเกมที่เน้นเนื้อหา การเผยแพร่ต้องรองรับการอัปเดตเพิ่มเติมหรือแก้ไขเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องให้ผู้เล่นดาวน์โหลดซ้ำทั้งหมดเกินความจำเป็น

2.1.2 พื้นที่การทำงานเฉพาะด้าน (Areas)

เมคานิกส์การเล่น (Gameplay Mechanics) - การออกแบบและพัฒนากลไกการเล่น เป็นหัวใจหลักสำคัญของ

การสร้างระบบเกม ซึ่งรวมไปถึง อาทิ การเคลื่อนไหวของตัวละคร ระบบต่อสู้ ระบบภารกิจ และการตอบสนองของเกมต่อผู้เล่น

การออกแบบเลเวลและเนื้อหา (Level and Content Design) – การสร้างด่านเลเวลและเนื้อหา และการเพิ่มความท้าทายใหม่ให้แก่ผู้เล่น ส่วนนี้มีความเกี่ยวข้องกับระบบเกมแต่ละระบบสูง ตามลักษณะเฉพาะตัว จึงมักจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องมือแก้ไขข้อมูลเฉพาะของระบบนั้นๆ

การแก้ไขเนื้อหารอง (Secondary Content Editing) - การปรับปรุงหรือแก้ไขเนื้อหาที่ไม่ใช่ระบบหลัก เช่น ข้อความ แอนิเมชัน เสียงประกอบ หรือเนื้อหาเนื้อเรื่อง ในส่วนนี้หากระบบออกแบบมาดี จะทำให้นักออกแบบสามารถทำงานอิสระได้โดยไม่ต้องคอยพึ่งพาความช่วยเหลือจากโปรแกรมเมอร์

2.2 เอนจินเกม (Game Engine)

เอนจินเกมคือซอฟต์แวร์หลักที่ช่วยนักพัฒนาในการสร้างเกม โดยให้เครื่องมือและโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการเขียนโค้ด การจัดการกราฟิก เสียง ฟิสิกส์ และการโต้ตอบของผู้เล่น [2] ซึ่งแตกต่างจากไลบรารีมัลติมีเดียขั้นพื้นฐาน (primitive multimedia libraries) ที่มักให้เฉพาะฟังก์ชันพื้นฐาน เช่น การวาดภาพหรือเล่นเสียง แต่ไม่มีเครื่องมือครบวงจรสำหรับการพัฒนาเกม

2.2.1 ความแตกต่างระหว่าง Game Engine กับ Multimedia Libraries

ความครบวงจร: เอนจินเกมจะรวมฟีเจอร์หลายด้าน [3] เช่น ระบบฟิสิกส์ AI การจัดการเนื้อหา และระบบแอนิเมชัน ในขณะที่ไลบรารีมัลติมีเดียมักเน้นเฉพาะงานเดียว

เครื่องมือสร้างเนื้อหา: เอนจินเกมมักมาพร้อมกับ editor ที่สามารถสร้างและแก้ไขเนื้อหาได้โดยตรง ในขณะที่ไลบรารีพื้นฐานจะต้องเขียนระบบเองทั้งหมด

2.2.2 เอนจินเกมหลักในตลาด

Unity – เป็นเอนจินเกมที่ได้รับความนิยมสูง [4] เนื่องจากรองรับหลายแพลตฟอร์ม มีเครื่องมือครบครันสำหรับทั้งเกม 2D และ 3D และสนับสนุนการทำงานร่วมกับ Web Target ทำให้สามารถรันเกมบนเว็บได้อย่างยืดหยุ่น

Unreal Engine – มีความสามารถด้านกราฟิกและฟิสิกส์ขั้นสูง เหมาะสำหรับเกม AAA และเกมที่ต้องการภาพกราฟิกสมจริงสูง

Godot – เป็นเอนจินเกมโอเพนซอร์สที่เหมาะสมกับเกมขนาดเล็กถึงกลาง มีภาษา scripting ที่เรียนรู้ง่าย และสามารถปรับแต่ง UI/UX สำหรับการสร้างเครื่องมือแก้ไขเนื้อหาได้

2.3 เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

เว็บแอปพลิเคชันเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างอินเทอร์เน็ตเฟสที่ใช้งานง่ายและเข้าถึงได้สะดวกสำหรับผู้สร้างเนื้อหาและทีมงานศิลปิน เทียบกับเครื่องมือแก้ไขเนื้อหาแบบดั้งเดิมบนเอนจินเกม เว็บแอปพลิเคชันช่วยให้ประสบการณ์การใช้งานที่ยืดหยุ่น ปลอดภัย และสามารถปรับแต่งได้ตามความต้องการของทีม

2.3.1 ระบบ UI/UX ที่ซับซ้อน (Complex UI/UX Ecosystem)

เว็บแอปพลิเคชันสามารถสร้างอินเทอร์เน็ตเฟสการทำงานที่มีความซับซ้อนและปรับแต่งได้ [5] ตามแต่ละประเภทเกม เช่น สามารถสร้างตัวแก้ไขด่านเลเวลที่ซับซ้อน ระบบจัดการคลังทรัพยากร หรือเครื่องมือแก้ไขบทสนทนาและภารกิจ

2.3.2 การเข้าถึงและปรับใช้ได้ง่าย

เว็บแอปสามารถเข้าถึงได้จากอุปกรณ์หลายประเภท เช่น คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ แท็บเล็ต หรือแม้กระทั่งทีวีเสียบ ทำให้งานไม่จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์หนัก ๆ บนเครื่องตนเอง นอกจากนี้ การปรับใช้และอัปเดตเครื่องมือแก้ไขเนื้อหาเป็นเรื่องง่ายเพียงอัปเดตจากฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ขจัดความยุ่งยากในการติดตั้งซ้ำเมื่อมีการแก้ไขระบบ

2.3.3 การรวมเข้ากับเทคโนโลยีเว็บสมัยใหม่

เว็บแอปสามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยีเว็บล่าสุด เช่น JavaScript, WebAssembly, HTTP API, และระบบฐานข้อมูล ทำให้สามารถดึงข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์หลักหรือทดสอบเนื้อหาแบบแยกส่วนได้ทันที เทคนิคเช่นการฉีดข้อมูล (data injection) และการโอเวอร์ไรด์ข้อมูล (overriding) ช่วยให้ทีมงานสร้างและทดสอบเนื้อหาใหม่โดยไม่กระทบต่อเซิร์ฟเวอร์หลัก

2.4 ความสามารถในการทำงานร่วมกันของภาษาโปรแกรม (Programming Language Interoperability)

การทำงานร่วมกันระหว่างภาษาโปรแกรม [6] เป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาเนื้อหาเกมบนหน้าเว็บ ซึ่งต้องให้ออนจินเกมและเว็บแอปสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลและเรียกใช้งานฟังก์ชันซึ่งกันและกันได้อย่างราบรื่น เทคนิคเหล่านี้ช่วยให้ทีมโปรแกรมเมอร์และผู้สร้างเนื้อหาสามารถทำงานแยกส่วนกันได้อย่างอิสระ โดยไม่กระทบต่อการทำงานของฝ่ายระบบ

2.4.1 ABI – Application Binary Interface

ABI เป็นมาตรฐานที่กำหนดวิธีการที่โปรแกรมเรียกใช้ฟังก์ชันและเข้าถึงหน่วยความจำของซอฟต์แวร์ในระดับไบนารีการทำงานร่วมกันบนมาตรฐาน ABI ช่วยให้โมดูลที่เขียนด้วยภาษาโปรแกรมต่างกันสามารถติดต่อสื่อสารกันได้

2.4.2 API – Application Programming Interface

API เป็นชุดของคำสั่งและฟังก์ชันที่จัดทำขึ้นเฉพาะกิจเพื่อเปิดทางให้โปรแกรมหนึ่งสามารถเรียกใช้งานอีกโปรแกรมหนึ่งได้ โดย API มีหลากหลายรูปแบบ อาทิ การทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

2.4.3 FFI – Foreign Function Interface

FFI เป็นเทคนิคที่ทำให้โปรแกรมหนึ่งสามารถเรียกใช้ฟังก์ชันหรือโมดูลที่เขียนด้วยภาษาต่างกัน ตัวอย่างเช่น เว็บแอปที่เขียนด้วย JavaScript สามารถเรียกใช้งานฟังก์ชัน C# ของ Unity Web build ได้ทันที FFI จึงเป็นหัวใจหลักในการช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการสร้างระบบ

2.5 JavaScript และ ECMAScript

JavaScript เป็นภาษาสคริปต์หลักของเว็บแอปพลิเคชัน มีบทบาทสำคัญในการสร้างอินเทอร์เฟซแบบโต้ตอบ และการเชื่อมต่อกับอนจินเกมผ่านเว็บ ของ Unity Web Target

2.5.1 JavaScript

JavaScript เป็นภาษาที่รันได้บนเว็บเบราว์เซอร์โดยตรง [7] ทำให้สามารถสร้าง UI/UX ที่ซับซ้อน และทำงานร่วมกับ Web API ของเบราว์เซอร์ได้ เช่น การกรอกข้อมูล, การดึงข้อมูลจากไฟล์ หรือจากเซิร์ฟเวอร์, การส่งค่าไปยังอนจินเกม Unity ผ่านฟังก์ชัน Interop หรือ HTTP Request/Response

2.5.2 ECMAScript

ECMAScript คือชื่อและการระบุมมาตรฐานย่อยอย่างเป็นทางการ [8] ของภาษา JavaScript ที่กำหนดโครงสร้างและฟีเจอร์ของภาษา เช่น การใช้งานโมดูล, ฟังก์ชันแบบอะซิงโครนัส (async/await), และตัวแปรแบบ block scope (let/const) มาตรฐานนี้ช่วยให้การพัฒนาเว็บแอปเป็นไปอย่างมีระเบียบ และสามารถปรับปรุงให้รองรับฟีเจอร์ใหม่ๆ ของเบราว์เซอร์ได้อย่างต่อเนื่อง

2.6 WebAssembly

WebAssembly (Wasm) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้โปรแกรมที่คอมไพล์จากภาษาโปรแกรมมิ่งระดับสูง เช่น C# (Unity) สามารถรันบนเว็บเบราว์เซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโปรแกรมเนทีฟ [9]

ประสิทธิภาพสูง: รันโค้ดได้ใกล้เคียงกับโค้ดเนทีฟ ลดความหน่วงเวลาในการประมวลผล

ความปลอดภัย: รันใน sandbox ของเบราว์เซอร์ จึงไม่สามารถเข้าถึงระบบไฟล์หรือทรัพยากรภายนอกโดยตรง

ความยืดหยุ่น: สามารถทำงานร่วมกับ JavaScript เพื่อเรียกฟังก์ชันและส่งค่ากลับไปมาแบบเรียลไทม์

2.7 WebGL และ WebGPU

WebGL และ WebGPU เป็นเทคโนโลยีกราฟิกบนเว็บที่ช่วยให้ Unity Web Build สามารถเรนเดอร์กราฟิก 2D/3D ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในเบราว์เซอร์ [10] แม้จะรันในสภาพแวดล้อมของเว็บ ซึ่งช่วยให้ผู้สร้างเนื้อหาและทีมศิลป์สามารถเห็นผลลัพธ์ของงานศิลปะและการออกแบบเลเวลได้ทันทีแบบเรียลไทม์

2.7.1 WebGL

มาตรฐานกราฟิกที่อนุญาตให้รันโค้ดกราฟิก 3D/2D ได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับระบบเนทีฟ อาทิเช่น OpenGL บนเว็บเบราว์เซอร์ [11] โดยไม่ต้องติดตั้งปลั๊กอินเพิ่มเติม เป็นเทคโนโลยีเกาต์แรกของการทำระบบกราฟิกประสิทธิภาพสูงบนระบบเว็บเบราว์เซอร์

2.7.2 WebGPU

เทคโนโลยีกราฟิกรุ่นใหม่ที่ทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่า WebGL [12] และสนับสนุนฟีเจอร์กราฟิกสมัยใหม่ เช่น การเรนเดอร์แบบ compute shader และการประมวลผลกราฟิกแบบ

ขนาน ทำให้สามารถแสดงผลได้อย่างรวดเร็วและมีรายละเอียดสูงยิ่งกว่า [13]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Creating Audio Games Online with a Browser-Based Editor [14]: งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเครื่องมือแก้ไข (Editor) ที่ทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์สำหรับสร้างเนื้อหาเกมที่มีการเล่นผ่านเสียงเป็นหลัก ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของเราที่เน้นการพัฒนากระบวนการทำงาน (workflow) ที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับหลายประเภทเกม งานวิจัยดังกล่าวมีขอบเขตจำกัดเฉพาะเกมประเภทเดียวและไม่อาศัยเอนจินเกมมาตรฐานอย่าง Unity หรือ Unreal จึงมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าแนวทางที่เสนอในงานวิจัยของเราซึ่งสามารถครอบคลุมการสร้างเนื้อหาหลากหลายประเภทได้กว้างกว่า

Generative Audio and Real-Time Soundtrack Synthesis in Gaming Environments [15]: งานนี้นำเสนอ workflow ที่ออกแบบมาเพื่อการสร้างเนื้อหาด้านเสียงและดนตรี

ภายในเกม โดยเฉพาะเกมแนวดนตรีหรือจังหวะ (Rhythm) ซึ่งมีขอบเขตจำกัดอยู่ในมิติของการออกแบบเสียงดนตรีเท่านั้น และไม่ได้ใช้เครื่องมือบนเว็บ แม้ว่าจะช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับ workflow เฉพาะทาง แต่ยังไม่ตอบโจทย์การสร้างเนื้อหาหลากหลายชนิดเชิงกว้างและการร่วมมือผ่านแพลตฟอร์มเว็บอย่างที่งานวิจัยของเรามุ่งเน้น

Using Unity and Shield UI for Displaying 3D Medical Education Objects in the Web Browser [16]: งานนี้ประยุกต์ใช้ความสามารถของ Unity และ WebGL เพื่อแสดงผลข้อมูลสามมิติ สำหรับการศึกษาด้านการแพทย์ โดยแสดงให้เห็นศักยภาพของเทคโนโลยีเว็บในการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม งานดังกล่าวไม่ได้เน้นที่การพัฒนาเกมหรือการสร้าง workflow ในการจัดการเนื้อหา แต่เป็นการใช้ WebGL ในมิติอื่น ซึ่งแม้จะสะท้อนถึงความยืดหยุ่นของเทคโนโลยีเว็บ แต่ยังไม่สามารถนำมาใช้โดยตรงในบริบทของการพัฒนาเกมซึ่งเป็นหัวใจหลักของงานวิจัยของเรา

ตาราง 2.8: การเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	เกมเอนจิน	Editor ภายนอก	ประเภทเนื้อหา
Creating Audio Games Online with a Browser-Based Editor [14]	ไม่ได้ใช้	Web-Based Editor	เกมดนตรี
Generative Audio and Real-Time Soundtrack Synthesis in Gaming Environments [15]	Unity	DAW (โปรแกรมทำเพลง)	เกมดนตรี
Using Unity and Shield UI for Displaying 3D Medical Education Objects in the Web Browser [16]	Unity	Web-Based Editor	แอปพลิเคชันทางการแพทย์
แนวทางของงานวิจัยนี้	Unity	Web-Based Editor	เกมหลายหลายประเภท

จากตาราง 2.8 จะเห็นได้ว่า งานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ โดยมุ่งเน้นการพัฒนา workflow ที่รองรับการทำงานภายในระบบ Unity Engine ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาเกมดิจิทัลที่ได้รับความนิยมในระดับสากล โดยลักษณะเด่นของงานวิจัยคือการนำเสนอแนวทางการสร้างและปรับปรุงเนื้อหาเกมผ่าน Editor แบบ Web-based ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและจัดการองค์ประกอบของเกมได้จากทุกที่โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาการติดตั้งซอฟต์แวร์เฉพาะทางเพิ่มเติม นอกจากนี้ งานวิจัยยังให้ความสำคัญกับการออกแบบกระบวนการสร้างเนื้อหาที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับเกมหลากหลายประเภท ทั้งนี้ เพื่อขยายขอบเขตความเป็นไปได้ในการพัฒนาเกม และอำนวยความสะดวกต่อนักพัฒนาและผู้ที่ไม่มีความรู้พื้นฐานทางเทคนิคมากนัก

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การกำหนดปัจจัยประเมินผล

เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของระบบ จำเป็นต้องกำหนดปัจจัยที่ชัดเจนและสามารถวัดผลได้ โดยปัจจัยหลักแบ่งออกเป็นสองด้านคือ ความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use) และ ประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกัน (Collaboration Efficiency)

3.1.1 ความสะดวกในการใช้งาน (Ease of Use)

ปัจจัยนี้มุ่งเน้นการประเมินคุณสมบัติของระบบที่ช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงและจัดการข้อมูลหรือเนื้อหาเกมได้อย่างง่ายดาย รวดเร็ว และปลอดภัย โดยมีเกณฑ์ย่อยดังนี้

การเข้าถึง (Accessibility): การเปรียบเทียบระหว่างรูปแบบการใช้งานที่ต้องพึ่งพา Unity Editor หรือการติดตั้งบนอุปกรณ์ (mobile/desktop deploy) กับการเข้าถึงผ่านเว็บเบราว์เซอร์ที่สะดวกและไม่ต้องติดตั้งเพิ่มเติม

ความสามารถในการปรับแต่ง (Customization): การรองรับความต้องการเฉพาะของแต่ละเกมหรือเนื้อหา ซึ่งระบบแบบเว็บสามารถปรับ UI และ Workflow ให้เหมาะกับทีมงานได้ดีกว่าการปรับแต่งภายใน Unity Editor

การทำงานแบบแยกอิสระ (Isolation): การรองรับให้ผู้พัฒนาหรือผู้แก้ไขเนื้อหาสามารถสร้างและทดสอบข้อมูลได้บนเครื่องของตนเอง โดยไม่รบกวนระบบเซิร์ฟเวอร์หลักหรือทีมงานอื่น

ประสิทธิภาพการถ่ายโอนข้อมูล (Data Transfer): การลดการพึ่งพาการส่งข้อมูลปริมาณมากจากระยะไกล (remote server) โดยเปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถทดสอบด้วยข้อมูลเฉพาะส่วนที่ต้องแก้ไขได้ในเครื่องตนเอง

การปกป้องซอร์สโค้ด (Source Code Protection): การควบคุมสิทธิ์ในการเข้าถึง โดยไม่จำเป็นต้องให้ทีมศิลปินหรือ Content Editor เข้าถึง Unity Project ตรง ๆ ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงด้านความซับซ้อนและการรั่วไหลของทรัพย์สินทางปัญญา

3.1.2 ประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกัน (Collaboration

Efficiency)

ปัจจัยด้านนี้พิจารณาความสามารถของระบบในการลดความซ้ำซ้อนและเพิ่มความคล่องตัวของทีมงานที่ประกอบด้วยหลายบทบาท โดยเกณฑ์ย่อยประกอบด้วย

เวลาเฉลี่ยในการทำงาน (Average Task Duration):

การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละประเภท (เช่น การทดสอบไฟล์กราฟิก การสร้างเนื้อหาบทสนทนา หรือการออกแบบด่าน) ระหว่างกระบวนการแบบดั้งเดิมกับกระบวนการใหม่ที่ใช้เว็บเป็นเครื่องมือ

น้ำหนักความสำคัญต่อประเภทเกม (Task Weight per

Game Genre): การประเมินว่าประเภทของเกมแต่ละประเภท

(Casual, Strategy, Rhythm, MMO) มีการพึ่งพากิจกรรมย่อยมากน้อยเพียงใด โดยให้ค่าความสำคัญในระดับ 1-5 เพื่อสะท้อนถึงลักษณะเฉพาะของแต่ละประเภทเกม

อัตราการพัฒนาเชิงปริมาณ (Improvement Ratio):

การวัดสัดส่วนของการประหยัดเวลาและแรงงาน (time × manpower) ที่ได้จากกระบวนการใหม่ เทียบกับกระบวนการดั้งเดิมในแต่ละประเภทเกม

3.2 การกำหนดประเภทเกมเป้าหมาย

ในการออกแบบกระบวนการทำงาน และพัฒนาระบบ จำเป็นต้องพิจารณาลักษณะเฉพาะของเกมแต่ละประเภท โดยเฉพาะ ความแตกต่างด้านสถาปัตยกรรมระบบ ข้อมูลเกม และวิธีการจัดการเนื้อหา ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานที่นำเสนอ

3.2.1 เกม Casual/Puzzle

เกมประเภทนี้มักมี สถาปัตยกรรมระบบแบบ Client-Authoritative โดยเน้นการประมวลผลหลักอยู่ที่เครื่องผู้เล่น ข้อมูลเกมประกอบด้วย ด้าน/ระดับ (Level Data) และ การตั้งค่าเกมเพลย์พื้นฐาน (Gameplay Configs) ซึ่งขนาดข้อมูลไม่ใหญ่มาก การจัดการเนื้อหาจึงสามารถทำได้ด้วยไฟล์ JSON หรือฐานข้อมูลขนาดเล็ก ระบบต้องสามารถให้ผู้สร้างเนื้อหาทำงานแบบแยกเครื่อง (local sandbox) ได้สะดวก

3.2.2 เกม Turn-based Strategy

เกมประเภทนี้มี สถาปัตยกรรมแบบ Hybrid Client-Server เนื่องจากต้องตรวจสอบผลลัพธ์ของผู้เล่นหลายคนและรักษาสถานะเกมที่ถูกต้อง ข้อมูลเกมมีทั้ง Master Data สำหรับ

ไอเทม, Content Data สำหรับด่านและแผนที่ ระบบเนื้อหา จำเป็นต้องรองรับการแก้ไขและทดสอบแบบ isolated ก่อน commit กลับไปยังเซิร์ฟเวอร์กลาง

3.2.3 เกม Music/Rhythm

เกมแนวนี้มี สถาปัตยกรรม Client-Authoritative เช่นเดียวกับ Casual แต่เน้น Content ที่มีความละเอียดสูง เช่น เสียง เพลง และกราฟิกสอดคล้องกับจังหวะ การจัดการเนื้อหา และ asset ต้องสามารถปรับแต่งและตรวจสอบผลลัพธ์แบบ real-time ได้

3.2.4 เกม Real-time MMO

เกม MMO มี สถาปัตยกรรม Server-Authoritative ซึ่ง เกมเพลย์หลักทั้งหมดขึ้นกับเซิร์ฟเวอร์ เนื่องจากข้อมูลมี ปริมาณมากและซับซ้อน การสร้างและทดสอบเนื้อหาใหม่ต้อง สามารถทำได้แบบ isolated โดยใช้ local sandbox และมีวิธี inject ข้อมูลชั่วคราวจากเซิร์ฟเวอร์เพื่อผลลัพธ์แบบทันที

3.3 วิเคราะห์สถาปัตยกรรมระบบเกมที่พบบ่อย

การวิเคราะห์สถาปัตยกรรมระบบเกมเป็นขั้นตอน สำคัญในการออกแบบ workflow และ framework เพราะ สถาปัตยกรรมของเกมแต่ละประเภทมีความแตกต่างทั้งในด้าน การจัดการข้อมูล การสื่อสารระหว่างเซิร์ฟเวอร์และไคลเอนต์ และการประมวลผลสถานะเกม

3.3.1 การควบคุมการดำเนินเกม (Server vs Client Gameplay Authoritative)

เกมหลายประเภท โดยเฉพาะเกมออนไลน์แบบ MMO หรือเกมวางแผนแบบ Turn-based มักใช้สถาปัตยกรรมที่ เซิร์ฟเวอร์เป็นตัวกำหนดกฎการเล่น (Gameplay Authoritative) โดยไคลเอนต์ทำหน้าที่เป็นเพียงตัวแสดงผลและรับอินพุตจากผู้ เล่น:

ข้อดี: ลดความเสี่ยงการโกงเกม, ควบคุมสถานะเกมได้ เป็นศูนย์กลาง

ข้อจำกัด: การปรับแก้ไขระหว่างการเล่นทำได้ยาก กว่า เนื่องจากผู้สร้างเนื้อหาต้องสามารถทดสอบข้อมูลใหม่โดย ไม่กระทบเซิร์ฟเวอร์หลัก

3.3.2 ส่วนประกอบและรูปแบบข้อมูลของเกม (Game Data Components and Patterns)

ในการพัฒนาเกมโดยเฉพาะเกมที่มีเนื้อหาจำนวนมาก การจัดหมวดหมู่ข้อมูลและกำหนดรูปแบบการจัดเก็บข้อมูล เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเกมแต่ละประเภทมักมีความ ซับซ้อนของข้อมูลที่แตกต่างกัน การระบุส่วนประกอบข้อมูลที่ สำคัญและกำหนด pattern ในการจัดการ ทำให้สามารถ ออกแบบระบบให้รองรับทั้งการสร้าง และการทดสอบเนื้อหา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การแบ่งหมวดหมู่และรูปแบบการ จัดเก็บทำให้ระบบสามารถปรับตัวต่อแนวทางการสร้างเกมที่ แตกต่างกันในแต่ละ genre ได้ เช่น เกม casual อาจเน้นการ จัดการเนื้อหาแบบง่ายและ dynamic ในขณะที่เกม MMO หรือ strategy อาจต้องรองรับข้อมูลผู้เล่นและสถานะเกมแบบ เรียลไทม์ การวิเคราะห์และกำหนด components และ pattern จึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะช่วยให้การพัฒนาสอดคล้องกับ เป้าหมายของการสร้างเกมเชิงเนื้อหาอย่างมีประสิทธิภาพ

3.4 การพัฒนา Framework และ Workflow

หลังจากวิเคราะห์สถาปัตยกรรมระบบเกมและประเภท เกมเป้าหมายแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการพัฒนา framework และ workflow ที่สามารถทำงานร่วมกับ Unity Web build ได้อย่างมี ประสิทธิภาพ โดยมีเทคนิคที่นำมาใช้หลักๆดังนี้

3.4.1 Native Function Call

การเรียกใช้งานฟังก์ชันพื้นฐานของ Unity ผ่าน Web browser ทำให้สามารถสร้าง workflow ที่ผู้สร้างเนื้อหาสามารถ ทดสอบและปรับแต่งผลลัพธ์ของเนื้อหาได้ทันที เช่น การ โหลด asset, การอัปเดตสถานะเกม, หรือการควบคุมการเล่น สามารถเรียกใช้งานจาก web UI ได้โดยตรง ช่วยให้ผู้สร้าง เนื้อหาทดสอบการทำงานของ asset และข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยไม่ต้องรอการ build ใหม่จาก Unity Editor

3.4.2 Web Request Injection

เทคนิคการฉีดข้อมูลผ่าน HTTP request หรือ web form ช่วยให้ผู้สร้างสามารถปรับแต่งข้อมูลเกมและ assets ใน runtime ได้

ผู้สร้างเนื้อหาสามารถส่งข้อมูลใหม่ เช่น ด่าน, ไอเท็ม, หรือเนื้อเรื่อง เข้าไปในเกมโดยตรงจาก web UI โดยไม่ต้อง เปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารของตัวเกม

3.5 การประเมินผลและวิเคราะห์ผลลัพธ์

หลังจากพัฒนา framework และ workflow สำหรับการสร้างและแก้ไขเนื้อหาแบบเว็บ การประเมินผลและวิเคราะห์ผลลัพธ์ถือเป็นขั้นตอนสำคัญ เพื่อพิสูจน์ว่าแนวทางนี้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของทีมงานและประเภทเกมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการวิเคราะห์สถาปัตยกรรมข้อมูลเกมทั่วไป

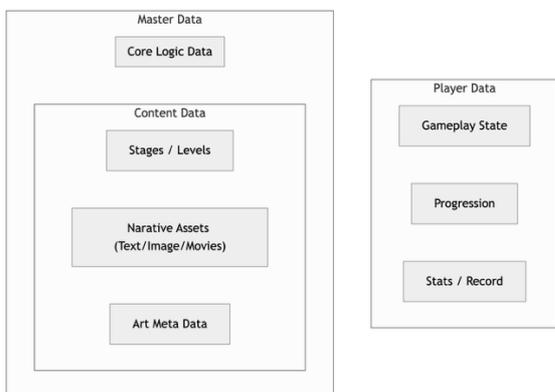
จากการศึกษาและสำรวจเกมแต่ละประเภท พบว่าโครงสร้างข้อมูลและสถาปัตยกรรมระบบมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันชัดเจน ดังนี้

Master Data / Meta Data: ข้อมูลหลักของเกม เช่น หน่วยตัวละคร ไอเทม ความสามารถ และค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน มักถูกเก็บแยกออกจากเนื้อหาเฉพาะด้านหรือระดับ

Content Data (Stages / Levels): ข้อมูลด่าน/ระดับมีความหลากหลายและขึ้นกับประเภทเกม สำหรับเกม Puzzle จะมีรูปแบบเรียบง่าย ขณะที่เกม Strategy หรือ MMO จะมีข้อมูลซับซ้อน เช่น แผนที่, อุปกรณ์, และภารกิจที่ต้องจัดการร่วมกับผู้เล่นหลายคน

Player Progression Data: ข้อมูลความคืบหน้าของผู้เล่น รวมถึงคะแนน, ไอเทมที่สะสม, และสถานะของเนื้อหาแต่ละด่าน การจัดการข้อมูลประเภทนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้เล่น

Gameplay State / Snapshot: ข้อมูลสถานะเกมปัจจุบัน เช่น ตำแหน่งตัวละคร, เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น, และผลลัพธ์ของการกระทำของผู้เล่น มักจำเป็นต้องจัดเก็บแยกต่างหาก เพื่อเพิ่มความรวดเร็วของการประมวลผล และเพื่อรองรับการทดสอบและแก้ไขทันทีในทุกสถานะ



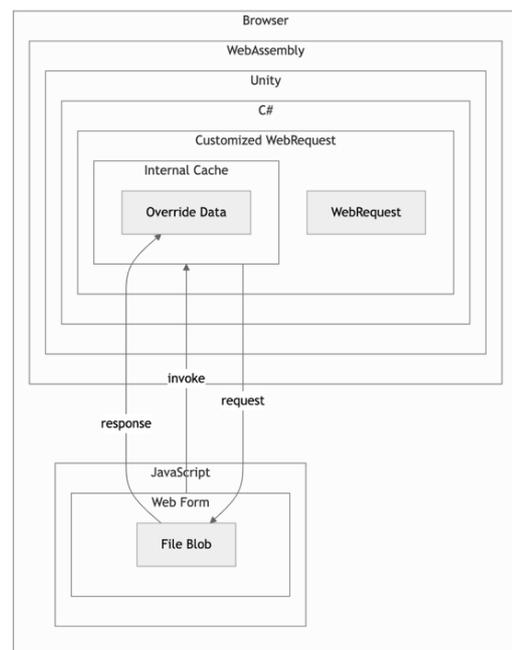
รูปที่ 1. สถาปัตยกรรมข้อมูลเกม

4.2 ผลการพัฒนาและกระบวนการทำงาน

จากข้อกำหนดและการวิเคราะห์สถาปัตยกรรมข้อมูล เราได้ทำการสร้างระบบที่มีส่วนประกอบทั้ง 2 ฝั่ง (C# กับ JavaScript) ทำงานร่วมกัน โดยหัวใจหลักคือการสร้าง Custom Wrapper Class ของ Unity WebRequest ทำให้สามารถควบคุมการทำงานต่างๆ ที่ตัวเกมกระทำผ่าน HTTP Request ได้อย่างหลากหลาย โดยประกอบไปด้วยความสามารถต่างๆ อาทิเช่น

CDN Asset Override – เป็นการส่งคำสั่งจาก JavaScript ไปยัง Unity ให้ทำการอ่านไฟล์ผ่าน Blob URL เพื่อนำเนื้อหาของไฟล์นั้นๆ ผ่านกระบวนการแปลง Format ข้อมูลของ Unity WebRequest Module ก่อนแล้วจึงเก็บลงใน Internal Cache ไว้ล่วงหน้า โดยอิงกับ URL นั้นๆ ก่อนที่ URL นั้นจะถูกเรียกอ่านจริงในช่วงเวลารันตัวเกม

HTTP Request Injection – เป็นการให้ JavaScript ทำการสร้างข้อมูล JSON API Request/Response ขึ้น ตามที่ปรับใน Web UI เพื่อส่งเนื้อหาขึ้นไปเก็บใน Internal Cache เช่นเดียวกับการ Override Asset แต่สามารถทำได้ทั้งข้อมูลขาเข้า Response และขาออก Request เพื่อปรับแต่งการสื่อสารของโคลแอนท์กับฝั่งเซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 2. สถาปัตยกรรมระบบที่ได้พัฒนาขึ้น

```
// Assume UnityInstance is your WebGL build instance
function injectContent(jsonData) {
    // Convert JSON object to string
    const jsonString = JSON.stringify(jsonData);

    // Send the content to Unity runtime via SendMessage
    // GameObject: "WebContentManager", Method: "ApplyContent", Param:
    jsonString
    UnityInstance.SendMessage('WebContentManager', 'ApplyContent',
    jsonString);
}

// Example usage
const newContent = {
    stageName: "Level_01",
    dialogues: ["Welcome!", "Collect all items to proceed."],
    assetUrls: ["assets/character.png", "assets/item.png"]
};

// Trigger content injection
injectContent(newContent);
```

รูปที่ 3. ตัวอย่างโค้ดของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับรูปแบบการทำงาน อาทิเช่น

การทดสอบ Art Assets: ศิลปินสามารถโหลดและทดสอบไฟล์กราฟิกหรือโมเดล 3 มิติบนเครื่อง local ได้ทันที โดยสามารถปรับการ Override ค่า Master/Meta Data ได้โดยตรงบน Web UI

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบภายในดั้งเดิมของ Unity เช่น Addressables / Scriptable Object ระบบของเรามีความยืดหยุ่นมากกว่า เนื่องจากการทำงานบนระบบพื้นฐานของ HTTP Web Resource ทั่วไป และทำงานได้โดยไม่ต้องจำกัดอยู่ภายใน GUI Editor ของ Unity และไม่จำกัดอยู่แค่เพียงขั้นตอนก่อนการ Build ตัวเกม

4.3 การประเมินผลและวิเคราะห์

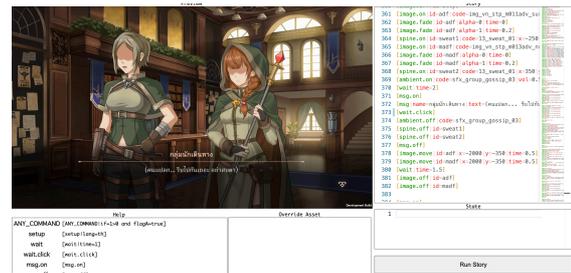
ในบทนี้จะนำเสนอผลการประเมินเชิงปริมาณของกรอบการทำงานที่พัฒนาขึ้น เปรียบเทียบกับระบบ CMS แบบดั้งเดิม โดยวัดทั้งด้าน ความสะดวกในการใช้งาน (Ease-of-Use) และ ประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกัน (Collaboration Efficiency) ผ่านตารางสรุปผล พร้อมคำอธิบายเชิงวิเคราะห์

ตาราง 4.3.1: การเปรียบเทียบ Ease-of-Use ระหว่าง CMS แบบดั้งเดิม และ Web UI บน Unity Web

เกณฑ์ประเมิน	CMS แบบดั้งเดิม	Web UI
Accessibility (การเข้าถึง)	ใช้งานผ่าน Unity Editor หรือ Mobile App ซึ่งมีความยากในการ Deploy Update	ใช้งานผ่านหน้าเว็บ และเป็น Version ล่าสุดเสมอ
Customization (การปรับแต่ง UI)	มีข้อจำกัดสำหรับการสร้าง UI ใน Unity Editor	สามารถสร้างและออกแบบได้อย่างอิสระและสะดวกกว่า
Isolation (การแยกการทดสอบ)	ต้องพึ่งพา Server กลางในการทดสอบ	ทดสอบแยกได้ในเครื่องตัวเอง
Data Transfer	ต้องอัปโหลดข้อมูลไปยัง Server ก่อน	ทดสอบได้ทันทีในเครื่องตัวเอง

การสร้างเนื้อหาเรื่องราว (Narrative Content): นักออกแบบสามารถสร้างเนื้อหาลำดับบทสนทนา และเนื้อหาเชิงเรื่องราว พร้อมทั้งคุณลักษณะแบบ Realtime บน Local Sandbox

การสร้างด่าน/ระดับ (Stages/Levels): ระบบรองรับการแก้ไขข้อมูลด่านพร้อมการ Override ข้อมูลในฝั่งเซิร์ฟเวอร์เพื่อคุณลักษณะแบบทันที โดยหากเป็นข้อมูลที่ต้องคำนวณในฝั่ง Server ควรออกแบบระบบให้ทำงานกับ State Snapshot เพื่อความสะดวกในการ Override ข้อมูล



รูปที่ 4. ตัวอย่าง UI ของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย Unity Viewport Canvas, HTML Form สำหรับ Text Input, File Upload, Input Button และ รวมไปถึง Monaco Editor สำหรับ Syntax Highlighting & Checking

(การรับส่งข้อมูล)		
Source Code Protection (การปกป้องซอร์สโค้ด)	ไม่สามารถทำได้กับการใช้งานผ่าน Unity Editor	ทำได้เพราะเป็น Build Version

จากตาราง 4.3.1 จะเห็นได้ว่าระบบใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองได้ทุกข้อกำหนดที่ได้วางไว้ในหัวข้อ 3.1.1

ในการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกัน เป็นการเก็บข้อมูลการทดลองเชิงสังเกตการณ์ โดยดำเนินการทดสอบให้ทีมนักพัฒนาเกมที่มีทักษะระดับปานกลาง จากหลากหลายสตูดิโอเกมขนาดเล็ก จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 10 กลุ่ม เข้ารับการชี้แจงอธิบายการใช้งานและการทำงานของระบบ แล้วให้ทดลองปฏิบัติงานแต่ละประเภท โดยใช้ระบบการทำงานแบบเดิม เทียบกับระบบการทำงานแบบใหม่ แล้วจึงได้บันทึกผลการใช้เวลาและจำนวนคน ได้ดังตารางนี้

ตาราง 4.3.2: เวลาเฉลี่ยในการทำงานร่วมกันของแต่ละงาน

ลักษณะงาน	CMS แบบดั้งเดิม			Web UI			n	t	p
	จำนวนคน	เวลาเฉลี่ย \bar{x} (นาที)	s.d.	จำนวนคน	เวลาเฉลี่ย \bar{x} (นาที)	s.d.			
การทดสอบ Art Assets	2	58.2	4.2	1	45	2.4	10	8.63	0
การสร้างเนื้อหาเรื่องราว (Narrative Content)	2	119.3	5.6	1	86	4.1	10	15.17	0
การสร้างด่าน/ระดับ (Stages/Levels)	2	126.1	5.9	1	62	3.2	10	30.20	0

จากตาราง 4.3.2 จะเห็นได้ว่าจำนวนผู้เกี่ยวข้องในแต่ละการทำงานลดลงจาก 2 ที่ต้องมีการทำงานของผู้แก้ไขพร้อมกัน โปรแกรมเมอร์ เป็นเพียงแค่นคนเดียว และใช้เวลาน้อยลงเนื่องจากไม่ต้องมีการรออีกฝ่ายไปมา ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในระหว่างทดสอบเป็นขนาดไม่ใหญ่มากอยู่ในระหว่างหลักร้อย MB จึงเพียงพอต่อการทำงานใน Ram ของเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป

ตาราง 4.3.3: น้ำหนักความสำคัญของแต่ละงานต่อประเภทเกม

ประเภทเกม	การทดสอบ Art Assets	การสร้างเนื้อหาเรื่องราว	การสร้างด่าน/ระดับ
Casual/Puzzle	4	1	5
Turn-based Strategy	2	3	5
Music/Rhythm	4	1	5
Real-time MMO	3	3	4

จากตาราง 4.3.3 เป็นการจำลองประมาณค่าน้ำหนักของความสำคัญงานแต่ละประเภท ตารางนี้แสดงว่าประเภทเกมแต่ละแบบตามในหัวข้อ 3.2 ว่าต้องพึ่งพาการทำงานของงานต่างๆ ในหัวข้อ 4.2 มากน้อยเพียงใด โดยใช้คะแนนน้ำหนัก 1-5 เพื่อสะท้อนผลกระทบของแต่ละงานต่อประสิทธิภาพโดยรวม

หลังจากนั้นเราจึงได้ทำการคำนวณหาอัตราการพัฒนาเชิงถ่วงน้ำหนักโดยใช้สูตรตามสมการ (1)

$$WIR = \sum \left(\frac{T_{baseline} \times P}{T_{proposed} \times P} \times W \right) \tag{1}$$

WIR = Weighted Improvement Ratio (อัตราการพัฒนาถ่วงน้ำหนัก)

T baseline = เวลาเฉลี่ยของงานเมื่อใช้ระบบเดิม (Baseline CMS)

T proposed = เวลาเฉลี่ยของงานเมื่อใช้ระบบที่เสนอ (Web-based Workflow)

P = จำนวนบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับงานนั้น ๆ

W = ค่าน้ำหนักความสำคัญของงานในแต่ละประเภทเกม

ตาราง 4.3.4: อัตราการพัฒนาประสิทธิภาพ

ประเภทเกม	ค่าน้ำหนักความสำคัญของงานแต่ละประเภท			อัตราการพัฒนาถ่วงน้ำหนัก
	Art Assets	Narrative Content	Stages/Levels	
Casual/Puzzle	40%	10%	50%	3.34x
Turn-based Strategy	20%	30%	50%	3.37x
Music/Rhythm	40%	10%	50%	3.34x
Real-time MMO	30%	30%	40%	3.22x

จากตาราง 4.3.4 ตารางนี้แสดงอัตราการพัฒนาของการทำงานเมื่อเปรียบเทียบระบบ CMS แบบเดิมกับระบบ Web-based Editor ของเรา โดยคำนวณแบบถ่วงน้ำหนักสำหรับแต่ละประเภทเกม และได้รวมผลจากการลดจำนวนบุคลากรที่เกี่ยวข้องลงครึ่งหนึ่งเข้าไปด้วย จะเห็นได้ว่าผลจากการใช้ระบบที่นำเสนอทำให้ตัวเลขอัตราประสิทธิภาพการทำงานร่วมกันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ผลกระทบหลักมาจากการลดการใช้เวลาร่วมกันในการทำงาน ที่เป็นการสิ้นเปลืองเวลาในการรอกันไปมา มีความแตกต่างในแต่ละประเภทงานและประเภทเกมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการพัฒนาเกมบน Unity Web-based Ecosystem โดยมุ่งเน้นการสร้างกรอบการทำงานสำหรับการสร้างและทดสอบเนื้อหาเกมอย่างรวดเร็ว ปลอดภัย และยืดหยุ่น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบ Web-based Editor สามารถช่วยให้ศิลปินและนักออกแบบเนื้อหาทำงานได้โดยไม่ต้องเข้าถึงซอร์สโค้ดของ Unity และสามารถทดสอบเนื้อหาแบบ isolated local sandbox ก่อน commit กลับไปยังเซิร์ฟเวอร์หลัก ทำให้ลดความซับซ้อนและคอขวดในการทำงานร่วมกัน

ผลการประเมินเปรียบเทียบกับระบบ CMS แบบดั้งเดิมพบว่า ความสะดวกในการใช้งาน (Ease-of-Use) และประสิทธิภาพการทำงานร่วมกัน (Collaboration Efficiency) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้าน การเข้าถึง, การปรับแต่ง,

การแยกทดสอบ, และการปกป้องซอร์สโค้ด การทำงานแบบ local sandbox และ runtime data injection ช่วยให้ผู้สร้างเนื้อหาสามารถเห็นผลลัพธ์ทันที ลดเวลาการทดสอบและการปรับแก้ไข

นอกจากนี้ ระบบสามารถรองรับ ประเภทเกมที่หลากหลาย ตั้งแต่ Casual/Puzzle, Turn-based Strategy, Music Rhythm ไปจนถึง MMO โดยการปรับใช้ workflow และสถาปัตยกรรมระบบให้เหมาะสมกับแต่ละประเภทเกม ส่งผลให้การจัดการเนื้อหาและการทดสอบมีความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพสูง

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผลการทดสอบจะออกมาดีมาก แต่ก็ยังขาดการนำไปทดลองกับทีมเกมขนาดใหญ่ และระบบเกมขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนสูงมากๆ ว่าแนวคิดนี้สามารถขยาย Scale-Up ได้หรือไม่

โดยสรุป งานวิจัยนี้เสนอ แนวทางการพัฒนาเกมบน Web-based Unity ที่ช่วยเพิ่มความรวดเร็ว ความปลอดภัย และความสะดวกในการสร้างเนื้อหาเกม พร้อมสนับสนุนการทำงานร่วมกันระหว่างทีมงานที่แตกต่างบทบาทอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Unity Technologies. (n.d.-b). Unity - Manual: Web introduction. Retrieved March 10, 2024, from <https://docs.unity3d.com/2023.3/Documentation/Manual/webgl-intro.html>
- [2] Unity Technologies. (n.d.-a). Unity - Manual: Creating and Using Scripts. Retrieved March 10, 2024, from <https://docs.unity3d.com/Manual/CreatingAndUsingScripts.html>
- [3] Etaiwi, L., Ullmann, G., Guéhéneuc, Y.-G., & Hamel, S. (n.d.). Consensus in Game Engine Architectures: An Overview of Subsystem Coupling in Game Engines. *Transfer*, 31, 22.
- [4] Hussain, A., Shakeel, H., Hussain, F., Uddin, N., & Ghouri, T. L. (2020). Unity game development engine: A technical survey. *Univ. Sindh J. Inf. Commun. Technol*, 4(2), 73–81.
- [5] Vyas, R. (2022). Comparative Analysis on Front-End Frameworks for Web Applications. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(7), 298–307.
- [6] Cross-Language Interoperability. (n.d.). Microsoft Developer Network (msdn.microsoft.com). Retrieved March 10, 2024, from <https://msdn.microsoft.com/en-us/subscriptions/50b25433-59f2-4c6f-9774-7d777cde6b0a%28v=vs.90%29>
- [7] JavaScript | MDN. (2024, March 5). <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>
- [8] ECMA-262. (n.d.). Ecma International. Retrieved March 10, 2024, from <https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-262/>
- [9] Specifications—WebAssembly. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://webassembly.org/specs/>
- [10] Aldahir, A. (2022). Evaluation of the performance of WebGPU in a cluster of WEB-browsers for scientific computing. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1674447>
- [11] WebGL 2.0 Specification. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://registry.khronos.org/webgl/specs/latest/2.0/>
- [12] WebGPU. (n.d.). Retrieved March 10, 2024, from <https://www.w3.org/TR/webgpu/>
- [13] Fransson, E., & Hermansson, J. (2023). Performance comparison of WebGPU and WebGL in the Godot game engine. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1762429>
- [14] Urbanek, M., Güldenpfennig, F., & Habiger, M. (2019). Creating Audio Games Online with a Browser-Based Editor. 272–276. <https://doi.org/10.1145/3356590.3356636>
- [15] Bossalini, C., Raffè, W., & Andres Garcia, J. (2020). Generative Audio and Real-Time Soundtrack Synthesis in Gaming Environments: An exploration of how dynamically rendered soundtracks can introduce new artistic sound design opportunities and enhance the immersion of interactive audio spaces. 32nd Australian Conference on Human-Computer Interaction, 281–292. <https://doi.org/10.1145/3441000.3441075>
- [16] Nikolova, A., Georgiev, V., & Mitreva, E. (2019). Using Unity and Shield UI for Displaying 3D Medical Education Objects in the Web Browser. <https://doi.org/10.55630/dipp.2018.8.22>



กฎความสัมพันธ์เพื่อระบุปัจจัยทางคลินิกกับความรุนแรงของโรคตับแข็ง Association Rule Mining to Identify Clinical Factors Linked to Disease Severity in Liver Cirrhosis

ปฎิพัทธ์ ทินวัง¹, เยาวลักษณ์ พิมายนอก¹, พรทิพย์ เฟลินศิลาป¹, สุพัตรา วัฒนสาชิตอาภา¹,
จริยา ผดุงพัฒน์ โนมม¹, ประภากร วิสิฐพงศ์พันธ์¹, สลธิ์ศรี มี บัววิรัตน์¹,
ณัฐธนิชา กิจการ¹, นราวัลลภ แก้วทวี¹, ก้องกริช ศรีบูรินทร์², ปนัดดา วิรุพหุญญภัทร³,
สัณห์สิริ เมืองมลัย⁴, ภักควดี เงินสุข⁴, ราชศักดิ์ สมยานนทนากุล^{5*}

Patipat Thinwang¹, Yaowaluk Pimainog¹, Pornthip Ploensil¹, Suphatra Watanasatitarpa¹,
Jariya Phadungpattanodom¹, Prapakorn Wisitpongpun¹, Sasirassamee Buavirat¹,
Natthanicha Kitchakarn¹, Narawan Kaewthawee¹, Kongkrit Sriburin², Panadda Virounbounyapat³,
Sunsiree Muangman⁴, Pukkavadee Ngermsuk⁴, Rachasak Somyanonthanakul^{5*}

¹คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต

²สถาบันกีฬา มหาวิทยาลัยรังสิต

³คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี

⁴คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

⁵วิทยาลัยสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

¹ Faculty of Medical Technology, Rangsit University

² Sports Institute, Rangsit University

³ Faculty of Allied Health Sciences, Pathumthani University

⁴ Faculty of Science, Rangsit university

⁵ College of Interdisciplinary Studies, Thammasat University

Received: October 5, 2025; Revised: December 9, 2025; Accepted: December 15, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT

This study applies the association rule mining to identify critical clinical patterns linked to different stages of liver cirrhosis. Utilizing data from the Mayo Clinic primary biliary cirrhosis trial (1974-1984), the research analyzed 5,805 patient records after applying inclusion and exclusion criteria. The Apriori algorithm was used to extract association rules, with measures including support, confidence, and lift. The analysis revealed distinct factors associated with each disease stage. For instance, Stage 1 was strongly linked with normal laboratory values like SGOT and bilirubin. Stage 3 was predominantly associated with abnormal clinical markers, including prothrombin time high, platelets count low, and age over 60. A dendrogram further clustered these factors, visually reinforcing the associations. The discovered rules provide valuable insights into the combinations of clinical and laboratory features that characterize cirrhosis progression. These findings can aid in early risk stratification and inform clinical decision-making for targeted patient management.

KEY WORDS -- Association Rule Mining, Liver Cirrhosis, Disease Severity, Clinical Factors

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้การใช้อัลกอริทึมการขุดค้นความสัมพันธ์ (Association rule mining) เพื่อระบุรูปแบบทางคลินิกที่สำคัญที่เชื่อมโยงกับแต่ละระยะของโรคตับแข็ง โดยใช้ข้อมูลจากงานทดลองของ Mayo Clinic ในผู้ป่วยภาวะท่อน้ำดีปฐมภูมิอักเสบ (ค.ศ. 1974-1984) งานวิจัยได้วิเคราะห์บันทึกผู้ป่วย 5,805 ราย หลังจากใช้เกณฑ์การคัดเข้าและคัดออก อัลกอริทึม Apriori นำมาใช้เพื่อสกัดกฎความสัมพันธ์ โดยใช้มาตรวัด ได้แก่ การค้ำจุน (support) ความเชื่อมั่น (confidence) และการยก (lift) ผลการวิเคราะห์เผยให้เห็นปัจจัยที่แตกต่างกันซึ่งสัมพันธ์กับแต่ละระยะของโรค ตัวอย่างเช่น ระยะที่ 1 มีความสัมพันธ์อย่างมากกับค่าทางห้องปฏิบัติการปกติ เช่น SGOT และบิลิรูบิน ในขณะที่ระยะที่ 3 สัมพันธ์ predominantly กับตัวบ่งชี้ทางคลินิกที่ผิดปกติ ได้แก่ โปรทรอมบินสูง เกล็ดเลือดต่ำ และอายุมากกว่า 60 ปี แผนภาพ dendrogram ยังได้จัดกลุ่มปัจจัยเหล่านี้ให้เห็นภาพเสริมสร้างความสัมพันธ์ที่พบ กฎที่ค้นพบให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าเกี่ยวกับชุด combination ของลักษณะทางคลินิกและห้องปฏิบัติการที่บ่งบอกถึงการดำเนินของโรคตับแข็ง ผลการวิจัยนี้สามารถช่วยในการจัดลำดับความเสี่ยง และเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจทางคลินิกเพื่อการจัดการผู้ป่วย

คำสำคัญ – การทำเหมืองกฎความสัมพันธ์, โรคตับแข็ง, ระยะความรุนแรงของโรค, ปัจจัยทางคลินิก

1. บทนำ

โรคตับแข็ง (cirrhosis) เป็นภาวะที่พบได้ทั่วโลก เกิดจากการมีพังคืดในเนื้อตับ อันเป็นผลจากการอักเสบเรื้อรังของตับ [1] เมื่อการอักเสบเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ตับจะพยายามซ่อมแซมตัวเอง แต่กระบวนการซ่อมแซมนี้ก่อให้เกิดการสะสมของพังคืดและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจนกลายเป็นตับแข็ง ซึ่งทำให้ตับไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ในระยะท้ายของโรคตับแข็งผู้ป่วยจะมีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตสูง อีกทั้งยังเพิ่มโอกาสของการเกิดมะเร็งตับ (hepatocellular carcinoma) [2] ข้อมูลจากปี ค.ศ. 2017 พบว่าโรคตับแข็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตมากกว่า 1.32 ล้านคนทั่วโลก คิดเป็นร้อยละ 2.4 ของการเสียชีวิตทั้งหมด [3] สำหรับประเทศไทย พบว่ามีผู้เสียชีวิตจากโรคตับแข็งประมาณ 9,131 รายต่อปี หรือคิดเป็นอัตราการตาย 8.9 ต่อประชากร 100,000 คน [4] สาเหตุสำคัญของโรคตับแข็งทั่วโลกมักเกิดจาก ไวรัสตับอักเสบบี และ ไวรัสตับอักเสบซี สอดคล้องกับที่พบในประเทศไทย สาเหตุหลักของโรคตับแข็ง เกิดจากการติดเชื้อไวรัสตับอักเสบบี ไวรัสตับอักเสบซี โรคตับจากแอลกอฮอล์ และโรคตับแข็งไขมัน คิดเป็นร้อยละ 29, 28, 28 และ 5 ตามลำดับ [5] การดำเนินโรคของโรคตับแข็งแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะ 1) compensated cirrhosis ในระยะแรกของผู้ป่วยโรคตับแข็งส่วนใหญ่อยู่ในภาวะ compensated cirrhosis คือไม่แสดงอาการใดๆ ในรายที่ตับถูกทำลายมาก ผู้ป่วยอาจมีอาการ อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน 2) ระยะ decompensated cirrhosis เป็นระยะที่ตับถูกทำลาย เกิดความเสียหายอย่างถาวร ทำให้ตับไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ นำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนที่รุนแรง เช่น ดีซ่าน (jaundice) ท้องมาน (ascites) อาการบวม (edema) อาการทางสมอง (hepatic Encephalopathy) และเลือดออกง่ายผิดปกติ การตรวจชิ้นเนื้อตับ (liver biopsy) เป็นวิธีมาตรฐานในการวินิจฉัยโรคตับแข็งเพื่อประเมินระยะของโรค ระบุชนิดของโรคตับ และช่วยในการวางแผนการรักษาที่แม่นยำ แต่การตรวจชิ้นเนื้อตับ เป็นการตรวจแบบ invasive test และเป็นหัตถการที่ก่อให้เกิดความเจ็บปวดในบางครั้ง ตลอดจนเป็นหัตถการที่มีความเสี่ยงของภาวะแทรกซ้อนที่ร้ายแรงถึงแก่ชีวิตได้ [5]

การวินิจฉัยโรคตับแข็งในระยะเริ่มต้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะหากผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยในระยะแรก แพทย์จะสามารถรักษาเพื่อช่วยลดความเสียหายของตับ และในบางกรณีอาจสามารถรักษาให้หายขาดได้ เพราะถ้าไม่ได้รับการรักษาจะทำให้ตับเสียหายจนไม่สามารถกลับสู่สภาวะปกติได้ ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนทางคลินิกที่รุนแรง เช่น ภาวะตับวาย โรคลิซ่าน และมะเร็งตับ ซึ่งส่งผลให้ผู้ป่วยเสียชีวิตในที่สุด [6]

งานวิจัยทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการหาความสัมพันธ์ (association rules) มีดังนี้ อาทิตยาพร โรจรัตน์ และ

คณะ [7] วิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดสมอง โดยใช้วิธีการทำเหมืองกฎความสัมพันธ์ (association rule mining) ด้วยอัลกอริทึม Apriori โดยอัลกอริทึม Apriori ถูกนำมาใช้ในการคำนวณและกำหนดค่าการสนับสนุน (support) และค่าความเชื่อมั่น (confidence) ที่ระดับ 0.27 และ 0.25 ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดโรคหลอดเลือดสมองประกอบไปด้วย 5 ปัจจัย คือ คัดขนีมวลกาย สถานภาพการแต่งงาน ประเภทของงาน โรคหัวใจ และอายุ Sirichamratsakul และ คณะ [8] ศึกษาความสัมพันธ์ (association rules) กับการเกิดโรคร่วมและรูปแบบของผู้ป่วยที่เป็นโรค biliary atresia; BA จากฐานข้อมูลกองทุนหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ ผ่านระบบ Thai Health Information Portal (THIP) โดยคัดเลือกผู้ป่วยอายุต่ำกว่า 6 ปี ที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็น BA ระหว่างปี พ.ศ. 2560–2565 ผลการวิเคราะห์กฎความสัมพันธ์พบว่า ความผิดปกติของเมตาบอลิซึม โรคตับแข็ง และภาวะความดันโลหิตสูงมีความสัมพันธ์กับเกิดโรค biliary atresia

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ (association rules) ของข้อมูลจากผู้ป่วยโรคตับแข็ง ได้แก่ ข้อมูลทั่วไป ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ และระยะการเกิดโรคตับแข็ง จากฐานข้อมูล kaggle โดยคาดหวังว่ากฎของความสัมพันธ์ที่ได้สามารถแสดงให้เห็นถึงรูปแบบ และเป็นข้อมูลที่สำคัญ สำหรับ เป็นแนวทางช่วยในการพยากรณ์ระยะของการเกิดโรคตับแข็งในผู้ป่วย

เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลผู้ป่วยโรคตับแข็งโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (data mining) [9] ระเบียบวิธีวิจัยนี้เป็นไปตามกระบวนการ Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRIP-DM) เริ่มตั้งแต่การทำความเข้าใจปัญหาทางธุรกิจ (Business Understanding) การทำความเข้าใจข้อมูลที่เก็บรวบรวม (Data Understanding) การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) การนำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ (Modelling) และการประเมินผลที่ได้อย่างเข้มงวด (Evaluation) ขั้นตอนต่างๆ นี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้บรรลุผลลัพธ์ที่ดีที่สุด [8] ตลอดทั้งบทความนี้ ขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการทำเหมืองข้อมูลจะถูกอธิบายอย่างละเอียด พร้อมทั้งระบุเครื่องมือที่ใช้ และผลลัพธ์ที่ได้รับที่มีละเอียดเกี่ยวกับผู้ป่วยซึ่งได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคตับแข็ง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การจัดการข้อมูล

การวิจัยนี้ใช้ข้อมูล Navigating Liver Cirrhosis : Diagnosing the stage นำมาจากเว็บไซต์ www.kaggle.com มี

ข้อมูลทั้งหมด 25,000 ราย จาก Mayo Clinic study โดยงานวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูล 18 ปัจจัย ประกอบด้วย 1) ระยะของโรคตับแข็ง 2) สถานะ 3) การได้รับยา 4) อายุ 5) เพศ 6) ท้องมาน (ascites) 7) ตับโต (hepatomegaly) 8) ผื่นรูปแมงมุม (spiders) 9) บวม (edema) ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การตรวจเลือดเพื่อหาค่า 10) บิลิรูบิน (bilirubin) 11) คอเลสเตอรอล (cholesterol) 12) ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) 13) อัลบูมิน (albumin) 14) ทองแดง (copper) 15) ระดับเอนไซม์ SGOT หรือ AST (aspartate aminotransferase) 16) ระดับเอนไซม์ ALP (Alkaline Phosphatase) 17) เกล็ดเลือด (platelet) และ 18) โพรทรอมบิน (Prothrombin) เกณฑ์คัดเข้า

- มีข้อมูล ครบ 18 ปัจจัย
- มีข้อมูลการได้รับยา Placebo หรือสารที่ให้กับผู้ป่วยแต่
- ไม่มีตัวยาออกฤทธิ์จริง

เกณฑ์การคัดออก

- ข้อมูลซ้ำ จำนวน 15,361 รายการ
- มีข้อมูลการได้รับยา D-penicillamine ในการรักษา
- อยู่ในสถานะได้รับการเปลี่ยนถ่ายตับ

2.2 การตรวจห้องปฏิบัติการ (Laboratory Interpretation

Criteria)

ค่าปกติของการตรวจทางห้องปฏิบัติการดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าปกติทางห้องปฏิบัติการ

การตรวจทางห้องปฏิบัติการ	ค่าปกติ
Bilirubin (Total)	0.0 – 1.5 mg/dL
Total Cholesterol	< 200 mg/dL
Triglycerides	< 150 mg/dL
Albumin (Serum)	3.5 – 5.5 g/dL
Alkaline Phosphatase (ALP)	50-125 U/L
AST (SGOT)	5-34 U/L
Platelets (Thrombocytes)	150,000 – 400,000 / μ L
Prothrombin Time (PT)	9-13 sec
INR	0.9 – 1.2
Urine Copper	15-60 (μ g/24h)

2.3 กฎความสัมพันธ์ (Association rules)

กฎความสัมพันธ์ (Association Rules) เป็นกระบวนการวิเคราะห์รูปแบบร่วมปรากฏของข้อมูล โดยอาศัยการสร้างชุดรายการตัวเลือก (Candidate Itemsets) จากฐานข้อมูลหลายรอบด้วย

อัลกอริทึมอะพริออรี (Apriori Algorithm) เพื่อระบุรูปแบบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญในเชิงสถิติ กระบวนการดังกล่าวมุ่งเน้นการสำรวจพื้นที่ของรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Search Space) และคัดเลือกหากกฎความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับมาตรวัด (Measures) ที่ผู้ใช้กำหนด ได้แก่ Support, Confidence และ Lift เมื่อกำหนดชุดของรายการธุรกรรม (transaction) ซึ่งแต่ละรายการถูกอธิบายด้วย กฎความสัมพันธ์ ($A \cap B$) โดยที่ A และ B คือ กลุ่มรายการที่เกิดขึ้นร่วมกัน ความหมายของกฎนี้คือ ธุรกรรมในฐานข้อมูลที่มีรายการใน A มีแนวโน้มที่จะมีรายการใน B ร่วมอยู่ด้วย การคำนวณของกฎ ($A \cap B$) แทนเปอร์เซ็นต์ของธุรกรรมจากฐานข้อมูลดั้งเดิมที่มีทั้ง A และ B อยู่ร่วมกัน มาตรวัดที่มีการใช้กัน ได้แก่ Confidence ($A|B$) แทนเปอร์เซ็นต์ของธุรกรรมที่มีรายการใน A ซึ่งมีรายการใน B ร่วมอยู่ด้วย มาตรวัด Lift ซึ่งคำนวณจากค่า $(A|B)/(A)(B)$ แสดงให้เห็นว่ารายการ B ปรากฏขึ้นเมื่อรายการ A ปรากฏขึ้น ขณะที่การควบคุมความน่าจะเป็นในการเกิดขึ้นของรายการ B ไว้ ค่า Lift ช่วยบ่งบอกลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่าง A และ B โดยจำแนกได้ว่าเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นอิสระต่อกันมีค่า = 1 ความสัมพันธ์เชิงบวกมีค่า > 1 หรือความสัมพันธ์เชิงลบมีค่า < 1

ข้อดีของมาตรวัดความเชื่อมั่นคือการตีความความสำคัญของความสัมพันธ์ โดยเฉพาะในกรณีที่รายการมีความถี่การเกิดต่ำอาจแสดงถึงความสำคัญของความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นไป มาตรวัดการยก (Lift) จึงถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหา นี้โดยการวัดความสัมพันธ์ระหว่าง A และ B ในการสกัดรายการที่หายากหรือเกิดขึ้นไม่บ่อย ควรพิจารณาใช้ค่า Lift และ Confidence ดังนั้น ในการสกัดกฎความสัมพันธ์จากข้อมูลที่มีความถี่ต่ำ การพิจารณาทั้งค่า Lift และ Confidence จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งในด้านการแพทย์ มีการประยุกต์ใช้มาตรวัดนี้ในงานเหมืองข้อมูลอย่างแพร่หลาย [10, 11]

3. ผลการทดลองและคำอธิบายรายละเอียด

งานวิจัยนี้ใช้ชุดข้อมูล Navigating Liver Cirrhosis : Diagnosing the stage ซึ่งนำมาจากเว็บไซต์ www.kaggle.com [12] มีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 25,000 ราย จาก Mayo Clinic study ในระหว่างปี ค.ศ. 1974 ถึง 1984 ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อทำการสรุปชุดข้อมูลตามเกณฑ์การคัดเข้าแล้วมีจำนวนข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จำนวน 5,805 รายการ

ตารางที่ 2. สรุปชุดข้อมูลตามเกณฑ์การคัดเข้า คัดออก จำนวน 5,805 รายการ

No	ปัจจัยโรค	จำนวนราย	%
1	Status_C	3,437	59.2%
2	Status_D	2,368	40.8%
3	Bilirubin_normal	3,228	55.6%
4	Bilirubin_high	2,577	44.4%
5	Cholesterol_Normal	295	5.1%
6	Cholesterol_High	5,510	94.9%
7	Albumin_Low	2,792	48.1%
8	Albumin_Normal	3,013	51.9%
9	Copper_low	221	3.8%
10	Copper_Normal	1,535	26.4%
11	Copper_High	4,049	69.8%
12	SGOT_Normal	23	0.4%
13	SGOT_High	5,782	99.6%
14	Tryglicerides_normal	4,874	84.0%
15	Tryglicerides_high	931	16.0%
16	Platelets_Low	822	14.2%
17	Platelets_Normal	4,545	78.3%
18	Platelets_High	438	7.5%
19	Prothrombin_Normal	5,636	97.1%
20	Prothrombin_High	169	2.9%
21	Sex_F	5,246	90.4%
22	Sex_M	559	9.6%
23	Ascites_Y	2,792	48.1%
24	Ascites_N	3,013	51.9%
25	Hepatomegaly_Y	1,949	33.6%
26	Hepatomegaly_N	3,856	66.4%
27	Spiders_Y	3,461	59.6%
28	Spiders_N	2,344	40.4%
29	Edema_Y	207	3.6%
30	Edema_N	4,862	83.8%
31	Stage_1	1,773	30.5%
32	Stage_2	2,007	34.6%
33	Stage_3	2,025	34.9%

รายละเอียดข้อมูลแสดงดังนี้ 1) สถานะ (Status) 59.2% censored (3,437) death 40.8% (2,368) 2) บิลิรูบิน (bilirubin) normal 55.6% (3,228) high 44.4% (2,577) 3) คอเลสเตอรอล (cholesterol) normal

5.1% high 94.9% (5,510) 4) อัลบูมิน (albumin) low 48.1% (2,792) normal 52.9% (3,013) 5) ทองแดง (copper) low 3.8% (221) normal 26.4% (1,535) high 69.8% (4,049) 6) ระดับเอนไซม์ SGOT หรือ AST (aspartate aminotransferase) normal 0.4% (23) High 99.6% (5,782) 7) ไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides) normal 84.0% (4,874) high 16.0% (931) 8) เกล็ดเลือด (platelet) low 14.2% (822) Normal 78.3% (4,545) high 7.5% (438) 9) โปโรทรอมบิน (Prothrombin) normal 97.1% (5,636) high 2.9% (169) 10) เพศ (Sex) Female 90.4% (5,246) Male 9.6% (559) 11) ท้องมาน (ascites) Yes 48.1% (2,792) No 51.9% (3,013) 12) ตับโต (hepatomegaly) Yes 33.6% (1,949) No 66.4% (3,856) 13) ผื่นรูปแมงมุม (spiders) Yes 59.6% (3,461) No 40.4% (2,344) 14) บวม (edema) Yes 3.6% (207) No 83.8% (4,862) 15) สภาวะโรคตับแข็ง (Stage) Stage_1 30.5% (1,773) Stage_2 34.6% (2,007) Stage_3 34.9% (2,025)

การหาความสัมพันธ์แสดง LHS (Left hand side) เป็นการระบุปัจจัยที่ก่อให้เกิด และ RHS (Right hand side) เป็นการระบุสภาวะโรคตับแข็งโดยค่าที่แสดงมีค่าตัวแปรตามเงื่อนไขการคัดเข้า คัดออกเมื่อผ่านการทำการสกัดความสัมพันธ์ได้ทั้งหมด 631 กฎความสัมพันธ์

ตารางที่ 3 แสดงกฎความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับโรคตับแข็งระยะที่ 1 เรียงตามค่า Lift สูงสุด 10 ลำดับแรก

R	LHS	RHS	Sup	Conf	Lift
1	SGOT_Normal	Stage_1	0.002	0.006	1.566
2	Copper_low	Stage_1	0.017	0.056	1.481
3	Platelets_High	Stage_1	0.031	0.102	1.346
4	Status_C	Stage_1	0.220	0.722	1.219
5	Bilirubin_Normal	Stage_1	0.205	0.671	1.207
6	Albumin_Normal	Stage_1	0.178	0.584	1.125
7	Age_41_60	Stage_1	0.223	0.730	1.078
8	Copper_Normal	Stage_1	0.086	0.283	1.069
9	Triglycerides_Normal	Stage_1	0.273	0.893	1.063
10	Platelets_Normal	Stage_1	0.241	0.788	1.007

R: rule; Sup: support; Conf: confidence; LHS: left hand side; RHS: right hand side

ตารางที่ 3 แสดงกฎความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับโรคตับแข็ง Stage 1 เรียงตามค่า Lift สูงสุด 10 ลำดับแรก กฎความสัมพันธ์ที่เลือกมา ได้แก่ระดับเอนไซม์ SGOT และผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ที่ให้ผลเป็นค่าปกติ (Normal) จำนวน 5 รายการ ได้แก่ระดับ Bilirubin, Albumin, Copper, Triglycerides และ Platelets อย่างไรก็ตามค่าที่มีความสำคัญที่นำมาเป็นปัจจัยได้แก่

Copper Low, Platelets High, Age 41- 60 ได้บอกถึงปัจจัยที่สัมพันธ์กับโรคตับแข็งในระยะที่ 1 (Stage 1)
ตารางที่ 4 แสดงกฎความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับโรคตับแข็งระยะที่ 2 (Stage_2) เรียงตามค่า Lift สูงสุด 10 ลำดับแรก

R	LHS	RHS	Sup	Conf	Lift
1	Age_21_40	Stage_2	0.055	0.159	1.218
2	Albumin_Normal	Stage_2	0.214	0.619	1.192
3	Copper_Normal	Stage_2	0.108	0.313	1.183
4	Tryglicerides_high	Stage_2	0.064	0.185	1.156
5	SGOT_Normal	Stage_2	0.002	0.004	1.132
6	Status_C	Stage_2	0.225	0.652	1.102
7	Platelets_Normal	Stage_2	0.290	0.840	1.072
8	Bilirubin_Normal	Stage_2	0.205	0.594	1.068
9	Age_41_60	Stage_2	0.244	0.706	1.042
10	Prothrombin_Normal	Stage_2	0.343	0.992	1.022

R: rule; Sup: support; Conf: confidence; LHS: left hand side; RHS: right hand side

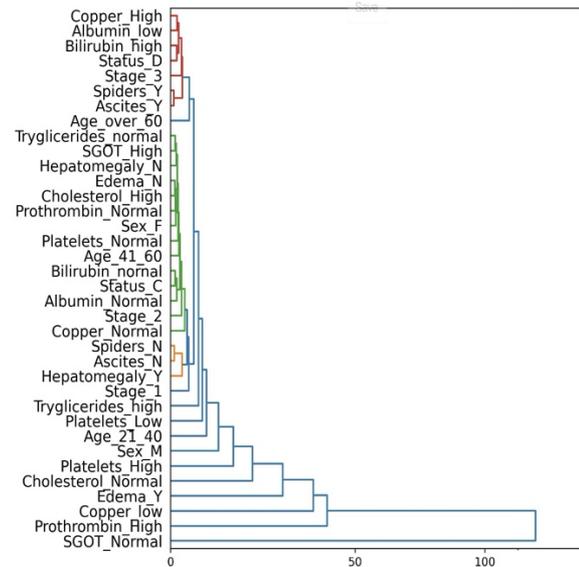
ในตารางที่ 4 แสดง กฎความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิด โรคตับแข็งระยะที่ 2 (Stage 2) โดยเรียงตามค่า Lift สูงสุด 10 ลำดับแรก กฎความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับ โรคตับแข็งระยะที่ 2 (Stage 2) ได้แก่ Age 41- 60 เป็นช่วงอายุที่เป็นปัจจัยที่มีผลมากที่สุด และผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ที่แสดงค่าปกติ (normal) จำนวน 5 รายการ ได้แก่ Albumin, Copper, SGOT, Platelets, และ Prothrombin อย่างไรก็ตาม มีเพียง Triglycerides High ที่เป็นค่าผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับโรคตับแข็งในระยะที่ 2 (Stage 2)

ตารางที่ 5 แสดงกฎความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับโรคตับแข็งระยะที่ 3 (Stage 3) เรียงตามค่า Lift สูงสุด 10 ลำดับแรก

R	LHS	RHS	Sup	Conf	Lift
1	Prothrombin_High	Stage_3	0.019	0.054	1.866
2	Platelets_Low	Stage_3	0.078	0.223	1.573
3	Age_over_60	Stage_3	0.100	0.286	1.494
4	Status_D	Stage_3	0.203	0.581	1.425
5	Cholesterol_Normal	Stage_3	0.024	0.069	1.360
6	Albumin_low	Stage_3	0.222	0.637	1.323
7	Bilirubin_high	Stage_3	0.203	0.582	1.312
8	Tryglicerides_high	Stage_3	0.064	0.182	1.136
9	Copper_High	Stage_3	0.269	0.772	1.107
10	SGOT_High	Stage_3	0.348	0.999	1.002

R: rule; Sup: support; Conf: confidence; LHS: left hand side; RHS: right hand side

ในตารางที่ 5 แสดงกฎความสัมพันธ์ที่ทำให้เกิดโรคตับแข็งระยะที่ 3 (Stage 3) เรียงตามค่า Lift สูงสุด 10 ลำดับแรก กฎความสัมพันธ์ที่เลือกมา ค่าสูงสุดที่เกี่ยวข้องกับโรคตับแข็งระยะที่ 3 (Stage 3) ได้แก่ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ Prothrombin High, Platelets low, Age over 60, Status Dead, Albumin Low, Bilirubin High, Triglycerides High, Copper High, และ SGOT High



รูปที่ 1. แสดง Dendrogram ใช้ Complete-linkage ค่า Lift ของปัจจัยการเกิดโรคตับแข็ง

รูปที่ 1 แสดง Dendrogram ใช้ Complete-linkage ค่า Lift ของปัจจัยการเกิดโรคตับแข็ง โดยกำหนดให้ค่า Threshold ที่ระดับ 5 สามารถแบ่งกลุ่มของข้อมูลได้ 3 กลุ่ม โดยเลือกมานำเสนอในค่าที่ผิดปกติ ได้แก่

1. ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ Copper High, Albumin Low, Bilirubin High, Status Dead, Spider Yes และ Ascites Yes อยู่กลุ่มเดียวกับโรคตับแข็งระยะที่ 3 (Stage 3)
2. ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ SGOT High, Cholesterol High อยู่กลุ่มเดียวกับโรคตับแข็งระยะที่ 2 (Stage 2)
3. ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ Triglycerides High, Edema Yes, Copper Low, Prothrombin High อยู่กลุ่มเดียวกับโรคตับแข็งระยะที่ 1 (Stage 1)

4. บทสรุปและการอภิปราย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหา รูปแบบความสัมพันธ์ (association rules) จากข้อมูลของผู้ป่วยโรคตับแข็ง โดยใช้ข้อมูลทั่วไปและอาการทางคลินิก ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ กับระยะความรุนแรงของโรคตับแข็ง ผลการ

ทดลองพบว่า ผู้ป่วย โรคตับแข็งระยะที่ 1 (Stage 1) มีความสัมพันธ์กับตัวแปร ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่ Copper ต่ำ, Platelets สูง, Triglycerides สูง Prothrombin time สูง มีภาวะบวม น้ำ (Edema) และ อายุ 41–60 ปี ซึ่งบ่งชี้ความผิดปกติเริ่มต้นของโรคตับแข็ง สำหรับผู้ป่วย ระยะที่ 2 (Stage 2) พบความสัมพันธ์ที่ประกอบด้วย อายุ 41–60 ปี, พบผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ Triglycerides สูง, SGOT สูง และ Cholesterol สูง ในขณะที่ผู้ป่วย ระยะที่ 3 (Stage 3) ซึ่งเป็นระยะรุนแรง พบความสัมพันธ์กับตัวแปรผิดปกติหลายประการ ได้แก่ พบผลทางห้องปฏิบัติการ Prothrombin สูง, Platelets ต่ำ, อายุมากกว่า 60 ปี, Albumin ต่ำ, Bilirubin สูง, Triglycerides สูง, Copper สูง, SGOT สูง พบมีผื่นรูปแมงมุม (Spider Yes) และมีท้องมาน (Ascites Yes) โดยรูปแบบของความสัมพันธ์ที่พบนี้ มีประโยชน์และเป็นข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ความเสี่ยงหรือการพยากรณ์โรคตับแข็งในผู้ป่วย

จากการศึกษาผู้ป่วยโรคตับแข็งที่ได้รับการรักษาในโรงพยาบาล พบว่ามีผู้ป่วยมีอาการ ตับโต ผื่นรูปแมงมุม ร้อยละ 38 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Sakkarin C และ คณะ [13] ทำการศึกษาในโรงพยาบาล พบว่าผู้ป่วยเกิดโรคตับแข็งภายหลังวินิจฉัยในระยะที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 24.8 และส่วนใหญ่ได้รับการรักษาโดยอายุรแพทย์เฉพาะทางและพบภาวะแทรกซ้อนเช่นท้องมาน และ การศึกษาของคุณ โสภณและคณะ [14] ศึกษาในโรงพยาบาลศิริราชพยาบาล พบว่าผู้ป่วยโรคตับแข็งส่วนใหญ่มีระดับเอนไซม์ SGOT สูง และผู้ป่วยเป็น เพศชาย ที่อายุที่มากกว่า 55 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาโดย คุณสุพัตราและคณะ [15] และสอดคล้องกับการศึกษาในต่างประเทศโดย Scaglione S, Goldberg DS และ Singal AG [16-18] ที่แสดงผลการศึกษาที่สอดคล้องกันว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคตับแข็ง คือ ไวรัสตับอักเสบบีและการดื่มแอลกอฮอล์ และภาวะแทรกซ้อนที่พบบ่อยคือท้องมานและเลือดออกในทางเดินอาหารเช่นเดียวกับการศึกษานี้ [19] ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย multivariable logistic regression พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการโรคตับแข็งอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ คือ เพศชาย, อายุมากกว่า 60 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า โดยคุณ โสภณและคณะ [14] พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิด โรคตับแข็ง คืออายุที่มากกว่า 55 ปี เพศชายและ โรคเบาหวาน การศึกษาของ MingYang และคณะ [20] พบว่าเชื้อชาติมีผลต่อการเกิดตับแข็งโดยพบบ่อยในทวีปยุโรป เนื่องจากพฤติกรรมกรรมการดำเนินชีวิต และอายุที่มากกว่า 60 ปี การศึกษาของ Singal AG [18] พบว่าอัตราการเกิดตับแข็งร้อยละ 14.2 สาเหตุเกิดจากติดเชื้อไวรัสตับอักเสบบี โดยปัจจัยที่เกิดโรคตับแข็งคือเพศชาย อายุมากกว่า 50 ปี และไม่ได้รับการคัดกรองโรคตับแข็ง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้จากการศึกษาพบว่าการรักษาโดยอายุรแพทย์เฉพาะทางโรคทางเดินอาหาร เป็นปัจจัยที่ลดการเกิดโรคตับแข็ง ทั้งนี้เพราะมีองค์ความรู้ในการเฝ้าระวังและคัดกรองก่อนเกิดภาวะแทรกซ้อนซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา

ของ Bunnag Kanut [19] พบว่าคุณภาพการรักษาสูงที่สุดโดยอายุรแพทย์เฉพาะทางโรคทางเดินอาหาร และสอดคล้องกับการศึกษาของ McPhail SM [21] พบว่าผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาโดยแพทย์เฉพาะทางโรคทางเดินอาหารจะได้รับการคัดกรองโรคตับแข็งสูงถึงร้อยละ 70 ทั้งนี้การศึกษานี้สนับสนุนปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่ทำให้เกิดตับแข็ง คือ เพศชาย อายุ มากกว่า 60 ปี โรคตับแข็งจากไวรัสตับอักเสบบีและพบว่า การไม่ได้รับการคัดกรองหรือได้รับการคัดกรองน้อยกว่าหรือเท่ากับปีละครั้ง

สรุปงานวิจัยนี้เสนอความสัมพันธ์ของ ข้อมูลทั่วไปและอาการทางคลินิก ผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการ และระยะความรุนแรงของโรคตับแข็งข้อมูลที่ได้นี้ช่วยสนับสนุน เพื่อใช้เป็นแนวทางช่วยในการพยากรณ์ระยะหรือระดับความรุนแรงของการเกิดโรคตับแข็งในผู้ป่วยต่อไป

ข้อจำกัดของงานวิจัย เนื่องจากการเก็บข้อมูลเวชระเบียนเป็นแบบย้อนหลังและระดับความรุนแรงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับแนวทางการรักษาและอาการก่อนวินิจฉัยโรคตับแข็ง จึงทำให้ผู้วิจัยไม่ได้นำข้อมูลระดับความรุนแรงของโรคมาศึกษาว่าเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งตับได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Schuppan, D., & Afdhal, N. H. (2008). Liver cirrhosis. *The Lancet*, 371(9615), 838-851.
- [2] Battle, A., Mudd, J., Ahlenstiel, G., & Kalo, E. (2025). Liver Cirrhosis: Evolving Definitions, and Recent Advances in Diagnosis, Prevention and Management. *Livers*, 5(3), 28.
- [3] World Health Organization. (2024). Global hepatitis report 2024: action for access in low-and middle-income countries. World Health Organization.
- [4] Alberts, C. J., Clifford, G. M., Georges, D., Negro, F., Lesi, O. A., Hutin, Y. J., & de Martel, C. (2022). Worldwide prevalence of hepatitis B virus and hepatitis C virus among patients with cirrhosis at country, region, and global levels: a systematic review. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 7(8), 724-735.
- [5] Castéra, L., Nègre, I., Samii, K., & Buffet, C. (1999). Pain experienced during percutaneous liver biopsy. *Hepatology*, 30(6), 1529-1530.
- [6] Wu, D., Jing, X. Y., Zhang, H., Kong, X., Xie, Y., & Huang, Z. (2020). Data-driven approach to application programming interface documentation mining: A review.

- Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 10(5), e1369.
- [7] Rojarath, A., Jantama, T., Srirat, W., Mookpakdee, N., khumwiso, K., Surinta, O. (2024). Factors analysis affecting stroke disease revealed using association rules. *J Sci Technol MSU*. 206-222.
- [8] Sirichamratsakul, K., Sangkhathat, S., Chongsuvivatwong, V. (2025). Referral Patterns, Co-occurring Conditions and Survival Outcomes of Biliary Atresia in Thailand: A Data Mining Study from the National Health Security Office Registry. *Siriraj Medical Journal*, 77(9), 610-619.
- [9] Patel, P., Sivaiah, B., & Patel, R. (2022). Relevance of frequent pattern (FP)-growth-based association rules on liver diseases. In *Intelligent Systems: Proceedings of ICMB 2021* (pp. 665-676). Singapore: Springer Nature Singapore
- [10] Ferreira, D., Silva, S., Abelha, A., & Machado, J. (2020). Recommendation system using autoencoders. *Applied Sciences*, 10(16), 5510.
- [11] Moreira, A., Duarte, J., & Santos, M. F. (2023). Case study of multichannel interaction in healthcare services. *Information*, 14(1), 37.
- [12]. Dickson, E. R., Grambsch, P. M., Fleming, T. R., Fisher, L. D., & Langworthy, A. (1989). Prognosis in primary biliary cirrhosis: model for decision making. *Hepatology* (Baltimore, Md.), 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1002/hep.1840100102>
- [13] Chirapongsathorn, S., Poovorawan, K., Soonthornworasiri, N., Pan-Ngum, W., Phaosawasdi, K., & Treeprasertsuk, S. (2020). Thirty-Day Readmission and Cost Analysis in Patients With Cirrhosis: A Nationwide Population-Based Data. *Hepatology communications*, 4(3), 453–460. <https://doi.org/10.1002/hep4.1472>
- [14] Supot Nimanong, M. D., Lukana Preechasuk, M. D., & Tawesak Tanwandee, M. D. (2020). Incidence and Characteristic of Hepatocellular Carcinoma in Hepatitis B Related Cirrhosis. *J Med Assoc Thai*, 103(8), S128-33.
- [15] Ruangsawat, S., Soivong, P., Suksatit, B. (2020). ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ พฤติกรรม การจัดการตนเองในผู้ที่เป็นโรคตับแข็ง. *Journal of Health and Nursing Research* Vol.36 (3), 123-34.
- [16] Scaglione, S., Kliethermes, S., Cao, G., Shoham, D., Durazo, R., Luke, A., & Volk, M. L. (2015). The epidemiology of cirrhosis in the United States: a population-based study. *Journal of clinical gastroenterology*, 49(8), 690-696.
- [17] Goldberg, D. S., Taddei, T. H., Serper, M., Mehta, R., Dieperink, E., Aytaman, A., & Kaplan, D. E. (2017). Identifying barriers to hepatocellular carcinoma surveillance in a national sample of patients with cirrhosis. *Hepatology*, 65(3), 864-874.
- [18] Singal, A. G., Tiro, J., Li, X., Adams-Huet, B., & Chubak, J. (2017). Hepatocellular carcinoma surveillance among patients with cirrhosis in a population-based integrated health care delivery system. *Journal of clinical gastroenterology*, 51(7), 650-655.
- [19] Bunnag, K., Seetalarom, N., Kongsompong, A., & Chirapongsathorn, S. (2019). IDDF2019-ABS-0076 Quality of care and cost analysis for cirrhosis management in a large university-based hospital in thailand.
- [20] Yang, M., Parikh, N. D., Liu, H., Wu, E., Rao, H., Feng, B. O., & Lok, A. S. (2020). Incidence and risk factors of hepatocellular carcinoma in patients with hepatitis C in China and the United States. *Scientific Reports*, 10(1), 20922.
- [21] McPhail, S. M. (2016). Multimorbidity in chronic disease: impact on health care resources and costs. *Risk management and healthcare policy*, 143-156.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร: การศึกษาเชิงทฤษฎี

Factors Affecting the Adoption of AI in Organizations: A Theoretical Study

พันธ์ศักดิ์ พึ่งงาม

Phansak Phungngam

สาขาวิชาบริหารธุรกิจ วิชาเอกการจัดการธุรกิจดิจิทัล คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
Department of Business Administration, Major in Digital Business Management, Faculty of Management, Thepsatri Rajabhat University.

Received: March 13, 2025; Revised: December 19, 2025; Accepted: December 22, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT

This study employed a literature review and analysis of relevant documents to identify critical factors influencing the implementation of AI. The findings revealed four main factors affecting AI adoption (1) Technology and innovation readiness—organizations with robust infrastructure and continuous innovation development are more capable of implementing AI effectively (2) Training and human resource development—providing staff with necessary training and skill development enhances the efficiency of AI adoption within organizations (3) Change management—planned approaches and support from management are crucial for organizations to adapt and smoothly accept AI implementation and (4) Ongoing evaluation and improvement—continual assessment and enhancement of AI systems contribute to more effective utilization. Furthermore, ensuring AI system security is an important consideration. This research can serve as a guideline for organizations planning to adopt AI efficiently, helping to enhance competitiveness and foster innovation.

KEYWORDS: Artificial Intelligence, Change Management, Innovation, Organizational Adoption, Training and Development

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ใช้การทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญ ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ 4 ด้าน ได้แก่ 1) ความพร้อมของเทคโนโลยีและนวัตกรรม ซึ่งองค์กรที่มีโครงสร้างพื้นฐานที่แข็งแกร่งและการพัฒนานวัตกรรมอย่างต่อเนื่องจะมีความสามารถในการนำ AI มาใช้ได้ดีกว่า 2) การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร การให้พนักงานได้รับการฝึกอบรมและพัฒนาทักษะที่จำเป็นจะช่วยให้การนำ AI มาใช้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ 3) การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลง การวางแผนและการสนับสนุนจากผู้บริหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำ AI มาใช้ได้อย่างราบรื่น และ 4) การประเมินผลและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การประเมินผลการใช้งานและปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นจะช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การรักษาความมั่นคงปลอดภัยของระบบ AI ก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสนใจ ผลการวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางสำหรับองค์กรในการวางแผนและนำ AI มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ให้กับองค์กร

คำสำคัญ การเปลี่ยนแปลง, การฝึกอบรม, นวัตกรรม, ปัญญาประดิษฐ์, องค์กร

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว การนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในองค์กรจึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เทคโนโลยี AI นำมาซึ่งความสามารถในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุน และสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่กระตุ้นให้องค์กรสามารถแข่งขันในตลาดได้อย่างยั่งยืน การนำ AI มาประยุกต์ใช้นั้นไม่เพียงแต่เป็นเรื่องของการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาใช้ แต่ยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายด้าน ทั้งความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐาน ทรัพยากรบุคคล วัฒนธรรมองค์กร ภาวะผู้นำ และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมธุรกิจ โดยเฉพาะในแง่ของความพร้อมด้านเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐาน องค์กรที่ประสบความสำเร็จในการนำ AI มาใช้ต้องมีระบบไอทีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ การลงทุนในฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่รองรับการประมวลผลข้อมูลในปริมาณมาก รวมถึงระบบเครือข่ายที่มีความเสถียรและปลอดภัย ถือเป็นรากฐานสำคัญที่จะผลักดันการบูรณาการ AI เข้ากับกระบวนการทำงานได้อย่างราบรื่น ทั้งนี้ การรวบรวมและบูรณาการข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ภายในองค์กรก็เป็นปัจจัยที่ช่วยให้การวิเคราะห์และตัดสินใจโดยใช้ AI มีความแม่นยำและตอบโต้การดำเนินงานในระยะยาว [1] อีกหนึ่งปัจจัยสำคัญคือทรัพยากรบุคคล ในโลกที่การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง บุคลากรที่มีทักษะในการวิเคราะห์ข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นทรัพยากรอันมีค่าสำหรับองค์กร การพัฒนาศักยภาพผ่านการอบรมและเวิร์กช็อปเฉพาะด้านจะช่วยให้พนักงานสามารถปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงและใช้งาน AI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ภายในองค์กรส่งเสริมให้วัฒนธรรมเกิดขึ้นและช่วยขับเคลื่อนองค์กรให้ก้าวทันกับแนวโน้มของเทคโนโลยีสมัยใหม่ การวัฒนธรรมองค์กรที่เอื้อต่อการพัฒนาและนำนวัตกรรมเข้ามาประยุกต์ใช้งานก็มีความสำคัญไม่น้อย เมื่อองค์กรมีวัฒนธรรมที่เปิดรับการเปลี่ยนแปลงและส่งเสริมคิดสร้างสรรค์ พนักงานจะรู้สึกมีส่วนร่วมในการทดลองสิ่งใหม่ ๆ และค่อย ๆ ขอมรับการใช้นวัตกรรมเช่น AI ได้ดีขึ้น การสื่อสารที่โปร่งใสและการรับฟังความคิดเห็นจากทุกภาคส่วนภายในองค์กร จะช่วยสร้างความเข้าใจร่วมกันและลดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น ทำให้บทบาท

ของผู้นำและผู้บริหารระดับสูงต้องมีความสำคัญในการกำหนดทิศทางและกลยุทธ์การนำ AI มาใช้ ผู้นำที่มีวิสัยทัศน์ชัดเจนสามารถชี้นำองค์กรให้ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลได้อย่างเป็นระบบ การวางแผนอย่างรอบคอบและการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้การปรับตัวขององค์กรเป็นไปอย่างรวดเร็ว และลดอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการนำ AI มาใช้ [2]

หนึ่งในปัจจัยที่สำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กรคือความพร้อมของเทคโนโลยีและวัฒนธรรม องค์กรที่มีการใช้เทคโนโลยีทันสมัยและมีการพัฒนานวัตกรรมใหม่ ๆ อยู่เสมอมักจะมีความสามารถในการนำ AI มาใช้ได้ดีกว่าองค์กรที่ขาดความพร้อมในด้านนี้ นอกจากนี้ เมื่อองค์กรมีระบบเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น โครงสร้างพื้นฐานด้าน IT ที่มีประสิทธิภาพและการเชื่อมต่อข้อมูลที่ครอบคลุม ระบบเหล่านี้จะช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลจำนวนมากและวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว นวัตกรรมที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องยังส่งเสริมให้เกิดการทดลองนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาปรับใช้ในการปรับปรุงกระบวนการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพในทุกระดับขององค์กร การสนับสนุนจากผู้บริหารที่มีวิสัยทัศน์และมีความมุ่งมั่นในการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวัฒนธรรมขององค์กรที่เปิดรับการเปลี่ยนแปลง ถือเป็นปัจจัยที่ช่วยให้การนำ AI ไปใช้เกิดผลสำเร็จและสามารถแข่งขันในยุคดิจิทัลที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้อย่างยั่งยืน [3] การมีระบบโครงสร้างพื้นฐานที่แข็งแกร่ง เช่น เซิร์ฟเวอร์และเครือข่ายที่สามารถรองรับการทำงานของ AI เป็นสิ่งสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กรได้อย่างราบรื่น นอกจากการติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ที่มีประสิทธิภาพและสามารถจัดการการประมวลผลข้อมูลในปริมาณมหาศาลแล้ว ระบบเครือข่ายที่มีแบนด์วิดท์สูงและความเสถียรยังช่วยให้การส่งผ่านข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์และอุปกรณ์ภายในองค์กรเกิดความรวดเร็วและไม่มีสะดุด นอกจากนี้ การจัดเตรียมระบบคลาวด์หรือโครงสร้างพื้นฐานแบบไฮบริดที่ผสมผสานความสามารถของเซิร์ฟเวอร์ในองค์กรกับบริการคลาวด์ จะช่วยให้สามารถปรับขยายระบบได้ตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นของธุรกิจ ระบบการสำรองข้อมูลและความปลอดภัยของเครือข่ายที่ได้มาตรฐานยังเป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันภัยคุกคามไซเบอร์และลดความเสี่ยงจากการสูญหายของข้อมูล เมื่อองค์กรมีความพร้อมในด้านนี้ การนำ AI มาใช้ก็

จะก้าวผ่านอุปสรรคทางเทคนิคและสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างราบรื่น สนับสนุนการดำเนินงานและการพัฒนานวัตกรรมในระยะยาวอีกด้วย [4] การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่สอดคล้องกับความต้องการขององค์กรจะช่วยให้การนำ AI มาใช้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการวิเคราะห์กระบวนการทำงานและเป้าหมายทางธุรกิจอย่างชัดเจนจะช่วยให้องค์กรสามารถระบุและเลือกใช้เทคโนโลยี AI ที่เหมาะสมกับลักษณะงานเฉพาะด้านได้ เช่น ระบบวิเคราะห์ข้อมูลอัจฉริยะ การประมวลผลข้อมูลเรียลไทม์ และการบริหารจัดการข้อมูลที่ครอบคลุม นอกจากนี้ การปรับปรุงซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ให้ทันสมัยเพื่อรองรับการทำงานของ AI รวมถึงการฝึกอบรมบุคลากรให้มีความรู้และทักษะในการใช้เครื่องมือเหล่านี้อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดอุปสรรคในการเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงาน สร้างความร่วมมือที่ดีภายในองค์กร และส่งผลให้การนำ AI มาใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในตลาดได้อย่างยั่งยืน [5]

การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรในองค์กรเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ การให้พนักงานได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้ AI และการพัฒนาทักษะที่จำเป็นจะช่วยให้การนำ AI มาใช้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากการจัดอบรมพื้นฐานแล้ว การจัดเวิร์กช็อปและสัมมนาเชิงปฏิบัติการที่เน้นการใช้งานจริงของ AI จะช่วยให้พนักงานเข้าใจและสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในสถานการณ์งานจริงได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ การแลกเปลี่ยนประสบการณ์และเทคนิคระหว่างทีมงานภายในองค์กรจะส่งเสริมให้เกิดความรู้ที่ลึกซึ้งและเพิ่มความมั่นใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ ในทุกขั้นตอนของการดำเนินงานอีกด้วย [6] นอกจากนี้ การส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ยังรวมถึงการสร้างสภาพแวดล้อมที่เปิดรับนวัตกรรมและการทดลองสิ่งใหม่ ๆ ผ่านการจัดเวิร์กช็อปและเวทีแลกเปลี่ยนความรู้ภายในทีมงาน การให้พนักงานมีโอกาสแสดงความคิดเห็น เสนอแนวคิดและรับฟังข้อเสนอแนะจากเพื่อนร่วมงานและผู้บริหารอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พนักงานรู้สึกเป็นเจ้าของในกระบวนการเปลี่ยนแปลงและมีความมั่นใจในการรับมือกับความท้าทายของยุคดิจิทัล ทั้งนี้ สภาพแวดล้อมดังกล่าวช่วยให้พนักงานปรับตัวได้อย่างรวดเร็วและยอมรับการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ เข้ามาประยุกต์มีประสิทธิภาพในทุกระดับขององค์กร

อย่างยิ่งและต่อเนื่อง [7] การสร้างบรรยากาศที่เปิดกว้างสำหรับการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะใหม่ ๆ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร โดยนอกจากการจัดเตรียมสื่อการสอนและโปรแกรมฝึกอบรมที่เข้าใจง่ายแล้ว ยังควรมีการจัดเวิร์กช็อปและกิจกรรมแลกเปลี่ยนประสบการณ์อย่างสม่ำเสมอ เพื่อกระตุ้นการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมภายในทีม นโยบายส่งเสริมการเรียนรู้และความร่วมมือระหว่างพนักงานในทุกระดับจะช่วยให้เกิดความมั่นใจในการทดลองใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ และปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงในยุคดิจิทัลได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นรากฐานสำคัญที่จะสนับสนุนการนำ AI มาใช้ให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในองค์กร [8]

การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร การวางแผนและการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำ AI มาใช้ได้อย่างราบรื่น นอกจากการกำหนดกลยุทธ์ที่ชัดเจนแล้ว การสื่อสารเป้าหมายและประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการใช้ AI ให้กับพนักงานอย่างโปร่งใส รวมถึงการรับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากทุกระดับขององค์กร ยังช่วยให้พนักงานมีความรู้สึกมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนแปลง ด้วยการจัดอบรมและเวิร์กช็อปเพื่อให้ความรู้ความเข้าใจต่อเทคโนโลยีใหม่ ๆ และการประเมินผลการปรับเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับกลยุทธ์ได้ทันทั่วทั้งตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง ช่วยลดความต้านทานและสร้างความมั่นใจให้กับทุกฝ่ายในการเดินทางสู่การใช้งาน AI อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว [9] การมีผู้บริหารที่สนับสนุนและให้ความสำคัญกับการนำ AI มาใช้จะช่วยให้องค์กรสามารถก้าวข้ามความท้าทายที่อาจเกิดขึ้นโดยผู้นำที่มีวิสัยทัศน์ไม่เพียงแต่กำหนดนโยบายการประยุกต์ใช้ AI ด้วยความชัดเจนเท่านั้น แต่ยังสร้างแรงบันดาลใจและส่งเสริมวัฒนธรรมที่เปิดรับนวัตกรรมใหม่ ๆ ภายในองค์กรอีกด้วย การสื่อสารที่โปร่งใสและการประสานงานที่มีประสิทธิภาพระหว่างทุกภาคส่วนช่วยลดความกังวลและอุปสรรคจากการเปลี่ยนแปลง เมื่อผู้บริหารแสดงความมุ่งมั่นอย่างแท้จริง พนักงานก็จะรู้สึกมีส่วนร่วมและมีความมั่นใจในการทดลองและปรับตัวใช้เทคโนโลยี AI ส่งผลให้องค์กรสามารถตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงในยุคดิจิทัลได้ดียิ่งขึ้น และสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในระยะยาวอย่างยั่งยืน

[10] การจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้การนำ AI มาใช้ในองค์กรเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ โดยการกำหนดแผนกลยุทธ์ที่ชัดเจน รวมถึงการสื่อสารและฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทุกระดับขององค์กรเข้าใจและปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ลดความไม่แน่นอนและสร้างความเชื่อมั่นในการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้จริงทั้งหมดนี้ยังช่วยให้สามารถติดตามผลและปรับปรุงกลยุทธ์ได้อย่างทันที่ตรงตามความต้องการในยุคดิจิทัลที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ [11]

การประเมินผลและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นปัจจัยที่สำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร การประเมินผลการใช้ AI ในการดำเนินงานและการปรับปรุงระบบให้มีความมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจะช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ผลตอบแทนและการเก็บข้อมูลเชิงลึกจากการใช้งานจริงจะช่วยให้ผู้บริหารสามารถระบุจุดที่ต้องปรับปรุงและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นอย่างทันที่รวมทั้งกำหนดกลยุทธ์ในการพัฒนาระบบต่อไปเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการที่เปลี่ยนแปลงในยุคดิจิทัลและนำไปสู่ประสิทธิภาพสูงสุดในทุกขั้นตอนของกระบวนการดำเนินงานองค์กร [12] การรักษาความมั่นคงและความปลอดภัยของระบบ AI เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเพื่อป้องกันการโจมตีและการขโมยข้อมูล โดยต้องใช้นโยบายรักษาความปลอดภัยที่เข้มงวด อัปเดตระบบอย่างสม่ำเสมอ และใช้เทคโนโลยีเข้ารหัสขั้นสูงควบคู่กับการตรวจสอบและเฝ้าระวังภัยคุกคามอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าระบบ AI จะสามารถต้านทานการโจมตีและรักษาความเชื่อถือของข้อมูลในทุกระดับขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ [13] การประเมินผลที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับปรุงการนำ AI มาใช้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยการติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกจากผลการใช้งานจริงจะช่วยให้องค์กรระบุจุดแข็งและจุดอ่อนได้ชัดเจนส่งผลให้สามารถปรับปรุงกลยุทธ์และปรับกระบวนการทำงานให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของตลาดและเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างรวดเร็ว ซึ่งทั้งหมดนี้จะนำไปสู่ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในทุกมิติของกระบวนการนำ AI มาใช้ในองค์กร [14]

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กรจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการนำ AI มา

ใช้ การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัจจัยเหล่านี้โดยใช้การศึกษาเชิงทฤษฎีจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่สามารถสืบค้นได้จริง การนำ AI มาใช้ในองค์กรจะมีผลกระทบต่อการทำงานและประสิทธิภาพขององค์กร ดังนั้นการทำความเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อการนำ AI มาใช้จะช่วยให้องค์กรสามารถวางแผนและนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด [15] และในงานศึกษานี้ คำว่า 'ปัญญาประดิษฐ์' (AI) หมายถึงเพียงแคเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ที่เน้นการประมวลผลข้อมูลและการตัดสินใจอัตโนมัติ เช่น ระบบวิเคราะห์ข้อมูลอัจฉริยะ การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) และระบบช่วยตัดสินใจ (decision support systems) โดยไม่รวมถึงการพิจารณาด้านหุ่นยนต์หรือฮาร์ดแวร์ที่ต้องปฏิสัมพันธ์เชิงกายภาพกับสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในองค์กร โดยพิจารณาจากแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลง
2. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์และการศึกษาเชิงทฤษฎี

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model - TAM)

ทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (TAM) เป็นทฤษฎีที่พัฒนาโดย Fred Davis ในปี 1989 เพื่ออธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับและการใช้เทคโนโลยีใหม่ในองค์กร ทฤษฎีนี้มีองค์ประกอบหลักสองประการคือ ความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) และประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งาน (Perceived Usefulness) [16] ความง่ายในการใช้งานหมายถึงความเชื่อของผู้ใช้ว่าเทคโนโลยีใหม่นั้นใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อน ส่วนประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งานหมายถึงความ

เชื่อของผู้ใช้ว่าเทคโนโลยีใหม่นั้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน [17]

ในบริบทของการนำ AI มาใช้ในองค์กร ความง่ายในการใช้งานและประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งานเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยอมรับและการใช้ AI ของพนักงาน [18] การฝึกอบรมและการสนับสนุนจากผู้บริหารเป็นสิ่งที่ช่วยให้พนักงานมีความมั่นใจในการใช้ AI และเห็นประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งาน [2] การสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้จะช่วยทำให้พนักงานมีความยอมรับและปรับตัวได้ดีขึ้น [7]

3.1.2 ทฤษฎีการจัดการการเปลี่ยนแปลง (Change Management Theory)

ทฤษฎีการจัดการการเปลี่ยนแปลงเป็นทฤษฎีที่พัฒนาโดย John Kotter ในปี 1996 เพื่ออธิบายขั้นตอนและปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการนำการเปลี่ยนแปลงมาใช้ในองค์กร ทฤษฎีนี้ประกอบด้วย 8 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การสร้างความรู้สึกเร่งด่วน (Creating a Sense of Urgency), การสร้างกลุ่มผู้นำการเปลี่ยนแปลง (Forming a Powerful Coalition), การพัฒนาวิสัยทัศน์และกลยุทธ์ (Creating a Vision for Change), การสื่อสารวิสัยทัศน์ (Communicating the Vision), การขจัดอุปสรรค (Removing Obstacles), การสร้างความสำเร็จระยะสั้น (Creating Short-term Wins), การรวมความสำเร็จและสร้างการเปลี่ยนแปลงเพิ่มเติม (Building on the Change), และการทำให้การเปลี่ยนแปลงเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมองค์กร (Anchoring the Changes in Corporate Culture) [19]

โดยเมื่อพิจารณาร่วมกันจะพบว่า ทฤษฎี TAM ให้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับแรงจูงใจบุคลากร ในขณะที่ Change Management Theory มอบแนวทางสำหรับการปรับโครงสร้างองค์กร การเรียนรู้และการจัดการความรู้ช่วยให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ต่อยอดนวัตกรรมใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง และการประเมินผลเป็นกลไกตอบกลับสุดท้ายที่ทำให้การพัฒนาเป็นวัฏจักร

ในบริบทของการนำ AI มาใช้ในองค์กร การจัดการการเปลี่ยนแปลงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำ AI มาใช้ได้อย่างราบรื่น [9] การมีผู้บริหารที่สนับสนุนและให้ความสำคัญกับการนำ AI มาใช้จะช่วยให้องค์กรสามารถก้าวข้ามความท้าทายที่อาจเกิดขึ้น [10] การ

จัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้การนำ AI มาใช้ในองค์กรเป็นไปอย่างราบรื่นและมี [11]

3.1.3 ทฤษฎีการเรียนรู้ขององค์กร (Organizational Learning Theory)

ทฤษฎีการเรียนรู้ขององค์กรเป็นทฤษฎีที่พัฒนาโดย Chris Argyris และ Donald Schön ในปี 1978 เพื่ออธิบายกระบวนการที่องค์กรสามารถเรียนรู้และปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง ทฤษฎีนี้ประกอบด้วยสองกระบวนการหลักคือ การเรียนรู้แบบเดี่ยว (Single-loop Learning) และการเรียนรู้แบบคู่ (Double-loop Learning) การเรียนรู้แบบเดี่ยวหมายถึงการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยไม่เปลี่ยนแปลงแนวคิดพื้นฐาน ส่วนการเรียนรู้แบบคู่หมายถึงการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยการเปลี่ยนแปลงแนวคิดพื้นฐาน [20]

ในบริบทของการนำ AI มาใช้ในองค์กร การเรียนรู้ขององค์กรเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8] การสร้างบรรยากาศที่เปิดกว้างสำหรับการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะใหม่ๆ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร [7] การฝึกอบรมและการพัฒนาบุคลากรในองค์กรเป็นสิ่งที่ช่วยให้พนักงานมีความมั่นใจในการใช้ AI และเห็นประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งาน [6]

ดังนั้นในการใช้งาน AI ในองค์กร ควรเลือกใช้แบบ double-loop learning เพราะเหมาะกับสถานการณ์ที่ต้องการการปรับเปลี่ยนโครงสร้างความคิดและกระบวนการทำงานเชิงลึก ไม่เพียงแต่ปรับปรุงวิธีการเดิม ๆ เหมือน single-loop แต่ double-loop จะช่วยให้องค์กรได้ทบทวนสมมติฐาน เปลี่ยนแปลงแนวคิดพื้นฐาน สร้างนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความซับซ้อน สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงเร็ว และความคาดหวังใหม่ๆ ของตลาด จึงเหมาะในการนำ AI มาใช้เพื่อผลลัพธ์ที่ยั่งยืนและแข่งขันได้

3.1.4 ทฤษฎีการจัดการความรู้ (Knowledge Management Theory)

ทฤษฎีการจัดการความรู้เป็นทฤษฎีที่พัฒนาโดย Ikujiro Nonaka และ Hirotaka Takeuchi ในปี 1995 เพื่ออธิบายกระบวนการที่องค์กรสามารถสร้างและจัดการความรู้ ทฤษฎีนี้ประกอบด้วยกระบวนการหลักสี่ประการคือ การสร้างความรู้ (Knowledge Creation), การแบ่งปันความรู้ (Knowledge

Sharing), การใช้ความรู้ (Knowledge Utilization), และการเก็บรักษาความรู้ (Knowledge Retention) [21] การสร้างความรู้หมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถสร้างความรู้ใหม่จากประสบการณ์และข้อมูลที่มีอยู่ การแบ่งปันความรู้หมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถแบ่งปันความรู้ที่มีอยู่กับบุคลากร การใช้ความรู้หมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถนำความรู้ที่มีอยู่มาใช้ในการดำเนินงาน และการเก็บรักษาความรู้หมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถเก็บรักษาความรู้ที่มีอยู่เพื่อใช้ในอนาคต [22]

ในบริบทของการนำ AI มาใช้ในองค์กร การจัดการความรู้เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถสร้างและแบ่งปันความรู้ที่จำเป็นในการใช้ AI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [12] การสร้างระบบจัดการความรู้ที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถเก็บรักษาความรู้ที่ได้รับจากการใช้ AI และนำความรู้นั้นมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน [13] การแบ่งปันความรู้ระหว่างบุคลากรจะช่วยให้การใช้ AI ในองค์กรเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ [2]

3.1.5 ทฤษฎีการจัดการนวัตกรรม (Innovation Management Theory)

ทฤษฎีการจัดการนวัตกรรมยุคใหม่ของ Tidd และ Bessant ให้ความสำคัญกับการบูรณาการนวัตกรรมเข้าไปในทุกขั้นตอนขององค์กรอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากการสร้างแนวคิดสร้างสรรค์ (Ideation) ซึ่งองค์กรควรเปิดโอกาสให้พนักงานทุกระดับได้เสนอไอเดียใหม่ ๆ จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการพัฒนา (Development) ที่นำแนวคิดเหล่านั้นมาปรับปรุงและทดลองให้กลายเป็นต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์จริง ต่อมาคือการนำเสนอ (Presentation) เพื่อนำผลงานที่ได้ไปสื่อสารกับผู้เกี่ยวข้อง รับฟังข้อเสนอแนะและปรับปรุงก่อนเข้าสู่การนำไปใช้จริง (Implementation) ซึ่งองค์กรควรมีโครงสร้างและทรัพยากรพร้อมสำหรับการเปลี่ยนแปลง และสุดท้ายต้องมีการประเมินผล (Evaluation) เพื่อเรียนรู้ ปรับปรุง ขยายผลหรือยกเลิกนวัตกรรมที่ไม่ตอบโจทย์ การจัดการนวัตกรรมตามแนวคิดนี้จะช่วยให้องค์กรมีความยืดหยุ่น ทันต่อกระแสเทคโนโลยี และสามารถแข่งขันในตลาดที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง ยิ่งไปกว่านั้น แนวทางนี้เน้นการมีส่วนร่วมของทุกคนในองค์กร ซึ่งทำให้เกิดวัฒนธรรมที่ส่งเสริมนวัตกรรมอย่างยั่งยืน เหมาะกับบริบทธุรกิจยุคดิจิทัลที่ต้องปรับตัวตลอดเวลา

[23] การสร้างแนวคิดนวัตกรรมหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถสร้างแนวคิดใหม่ๆ การพัฒนานวัตกรรมหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถพัฒนาแนวคิดใหม่นั้นให้เป็นผลิตภัณฑ์หรือบริการ การนำเสนอนวัตกรรมหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถนำเสนอนวัตกรรมที่พัฒนาแล้ว การนำไปใช้หมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถนำเสนอนวัตกรรมที่พัฒนาแล้วไปใช้ในการดำเนินงาน และการประเมินผลนวัตกรรมหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถประเมินผลกระทบของนวัตกรรมที่นำไปใช้ [24]

ในบริบทของการนำ AI มาใช้ในองค์กร การจัดการนวัตกรรมเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถสร้างและจัดการนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับ AI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่สอดคล้องกับความต้องการขององค์กรจะช่วยให้การนำ AI มาใช้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [3] การสร้างระบบจัดการนวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4]

3.1.6 ทฤษฎีการประเมินผล (Evaluation Theory)

ทฤษฎีการประเมินผลเป็นกรอบแนวคิดที่ใช้ศึกษาว่าการดำเนินการหรือโครงการหนึ่ง ๆ มีประสิทธิภาพและบรรลุเป้าหมายที่คาดหวังหรือไม่ โดยเน้นการออกแบบตัวชี้วัด (Indicators) เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ และสรุปผลเพื่อประกอบการตัดสินใจและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในทฤษฎีหลักที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางคือ “Model of Evaluation” ของ Michael Scriven [25] เน้นความสำคัญของการใช้แนวทางแบบเช็กลิสต์ (Checklist approach) ในการประเมิน โดยชี้ให้เห็นว่าการประเมินควรคำนึงถึงกระบวนการผลลัพธ์ และความเสถียรของข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนและนำไปปรับปรุงหรือพัฒนาต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้แนวคิดดังกล่าวยังคงได้รับการยอมรับและนำไปปรับใช้ในงานประเมินผลยุคใหม่ซึ่งต้องการความโปร่งใสและวัดคุณค่าได้จริง

การนำทฤษฎีการประเมินผลมาใช้ในการวางระบบ AI ในองค์กรจะช่วยให้ประเมินทุกขั้นตอน ตั้งแต่ความเหมาะสมของโครงการ ไปจนถึงการปรับปรุงเพื่อพัฒนาอย่างต่อเนื่อง องค์กรสามารถกำหนดตัวชี้วัดที่ชัดเจน ติดตามผลลัพธ์ และใช้ข้อมูลสำหรับการปรับกลยุทธ์หรือระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

ข้อดีอีกอย่างคือ ช่วยลดอคติ เปิดโอกาสให้มีการรับฟัง feedback จากหลายฝ่าย และชี้จุดแข็งหรือจุดอ่อนอย่างเป็นรูปธรรม

ตัวอย่างการใช้ประเมินผลในงาน AI

องค์กรกำหนด KPI การใช้ AI เช่น ความแม่นยำของโมเดล ความพึงพอใจของผู้ใช้ และผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงาน แล้วนำข้อมูลมาพัฒนา ปรับแต่งระบบ หรือขยายผลโครงการใหม่ในอนาคต

ตัวอย่างองค์กรไทยที่ประสบความสำเร็จและล้มเหลวในการนำ AI มาใช้

องค์กรที่ประสบความสำเร็จ เช่น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ได้นำ AI เข้ามาเสริมกระบวนการทำงานสำคัญ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าและการคาดการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า ช่วยเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในงานบริการลูกค้า ลดเวลาตอบสนองต่อปัญหาและข้อร้องเรียน องค์กรยังนำ GenAI มาช่วยบริหารจัดการระบบภายใน ตั้งแต่เอกสาร การจัดสรรงาน ไปจนถึงการวางแผนซ่อมบำรุง ส่งผลให้ลดต้นทุนการดำเนินงานโดยรวม ทั้งยังเปิดโอกาสให้พนักงานได้เรียนรู้และประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ จนเกิดวัฒนธรรม Digital Transformation อย่างแท้จริง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [26] และยังมีซีพี ออลล์ เป็นตัวอย่างความสำเร็จในการนำ AI มาปรับใช้อย่างมีกลยุทธ์ บริษัทตั้งเป้าหมายให้พนักงานอย่างน้อย 60% ใช้ AI ในการเพิ่มประสิทธิภาพงานประจำภายในปี 2571 โดยการพัฒนาพนักงานในสามมิติสำคัญ วิถีคิด (Mindset) เครื่องมือ (Toolset) และทักษะใช้งาน (Skillset) นอกจากนี้ บริษัทยังจัดค่าย Creative AI Camp ปีที่ 8 ที่มีพันธมิตรกว่า 30 ราย เช่น Google, AWS และมหาวิทยาลัยชั้นนำ เพื่อพัฒนาเยาวชนไทยให้เข้าใจ AI อย่างลึกซึ้งด้านและสามารถแก้โจทย์ปัญหาจริงในภาคธุรกิจ ผลลัพธ์สำคัญคือการสร้างนักพัฒนา AI ทีมเก่ง บริษัท Amigrow Group ที่ก่อตั้งโดยอดีตสมาชิกค่ายซีพี ออลล์ 2 คน ประสบความสำเร็จในการเป็นที่ปรึกษาด้าน Digital Transformation สำหรับกลุ่ม SME ของประเทศ) [27] ส่วนภาครัฐไทยได้พัฒนาการนำ AI มาใช้ผ่านโครงการแผนปฏิบัติการด้านปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติ โดย ก.พ.ร. นำร่องพิสูจน์แนวคิดการใช้ Generative AI ภายในองค์กร และพบว่าเจ้าหน้าที่สามารถประหยัดเวลาการทำงานได้เฉลี่ยคนละ 6 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ และเพิ่มผลิตภาพได้ถึง 15% การสำรึงนี้เกิด

จากความพยายามของรัฐบาลในการสร้างความเข้าใจและเสริมสร้างความมั่นใจให้กับเจ้าหน้าที่ว่า AI เป็นเครื่องมือช่วยเหลือ ไม่ใช่การคุกคามงาน นอกจากนี้ ก.พ.ร. ร่วมกับรัฐบาลมีแผนพัฒนาบุคลากร AI โดยมีเป้าหมายให้มี AI User ไม่น้อยกว่า 10,000,000 คน ภายในสองปี [28]

องค์กรที่ล้มเหลว เช่น โครงการ AI ภาครัฐ-เอกชนบางแห่งในไทย มีหลายโครงการ AI ของภาครัฐและเอกชนที่ไม่ประสบความสำเร็จ เหตุผลสำคัญคือขาดความเข้าใจในเป้าหมายที่แท้จริงของการใช้ AI บางแห่งเลือกเทคโนโลยีที่ไม่สอดคล้องกับปัญหาขององค์กร อีกทั้งข้อมูลที่ใช้ในการเทรน AI ไม่มีคุณภาพหรือไม่ครบถ้วน นำไปสู่ความผิดพลาดและค่าใช้จ่ายเกินงบประมาณ อีกประเด็นคือความต้านทานจากบุคลากรซึ่งไม่พร้อมเปิดรับการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้กว่า 85% ของโครงการ AI ในไทยประสบความล้มเหลวหรือหยุดกลางคัน [29]

ส่วนองค์กรที่ประสบความล้มเหลว ธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SME) ไทยเป็นตัวอย่างที่โดดเด่นของการล้มเหลวในการนำ AI มาใช้ การสำรวจล่าสุดพบว่า 7 จาก 10 ของ SME ไทยไม่สามารถนำ AI มาใช้ได้ เนื่องจากเผชิญปัญหาสามด้านที่เชื่อมโยงกัน ประการแรก คือ การขาดความรู้และทักษะซึ่ง 73.6% ของธุรกิจได้รับผลกระทบ ผู้บริหาร SME หลายคนไม่เข้าใจศักยภาพของ AI หรือวิธีประยุกต์ใช้ในธุรกิจของตนเอง ประการที่สอง คือ ปัญหาต้นทุน ที่ 68.4% ของ SME กังวล โดยค่าใช้จ่ายในการนำ AI มาใช้ การสร้างโครงสร้างพื้นฐาน การฝึกอบรมบุคลากร และการจ้างผู้เชี่ยวชาญเป็นภาระหนักสำหรับธุรกิจที่มีทรัพยากรจำกัด (Bangkok IT News, 2025) ประการที่สาม คือ ความกังวลด้านความปลอดภัยข้อมูล ที่ 61.2% ของ SME เกละกลัวในการมอบข้อมูลความลับของบริษัทและข้อมูลลูกค้าให้กับระบบ AI [30]

นอกจากนี้ SME ไทยยังประสบปัญหาการขาดข้อมูล (Big Data) ที่เพียงพอในการรองรับ AI หลายบริษัทพบว่าข้อมูลที่มีอยู่กระจัดกระจาย ไม่เป็นระบบ บางส่วนขาดหายหรือซ้ำซ้อน ปัญหาด้านบุคลากรยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญ บางพนักงานต่อต้านการเปลี่ยนแปลง เกละกลัวว่า AI จะมาแย่งงาน หรือกังวลเรื่องการเรียนรู้ระบบใหม่ ผลลัพธ์คือ อัตราความล้มเหลวของโครงการ AI ในกลุ่ม SME ถึง 85% [31] นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานภาครัฐไทยในภูมิภาคยังประสบความล้มเหลวที่มาก

ในการนำ AI มาใช้ แม้ว่าหน่วยงานสำคัญเช่น สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (ก.พ.ร.) มีความสำเร็จ (NECTEC, 2025) แต่หน่วยงานท้องถิ่นส่วนใหญ่ยังประสบความท้าทายที่สำคัญ โดยเฉพาะด้านบุคลากร ความพร้อมของบุคลากรเป็นปัจจัยชี้ขาด 70% ของความสำเร็จในการใช้ AI ในภาครัฐ ซึ่งเป็นอุปสรรคที่เข้าข่ายอย่างสาหัส บุคลากรของหน่วยงานท้องถิ่นขาดความรู้เรื่อง AI อย่างลึกซึ้ง หลายคนมีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับเทคโนโลยี โดยอาจนึกว่า AI เป็นระบบยุ่งยากที่ต้องใช้ความรู้สูงมาก และหน่วยงานภูมิภาคไม่มีระบบ IT ที่เป็นสากลหรือเป็นมาตรฐาน ทำให้ยากในการนำระบบ AI เชื่อมโยงกับการบริหารงานที่มีอยู่เดิม ความท้าทายด้านความปลอดภัยข้อมูลและการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ก็เป็นเงื่อนไขสำคัญที่ต้องจัดการ นอกจากนี้ ความไม่เพียงพอของงบประมาณในการลงทุนเป็นปัญหาใหญ่ โดยเฉพาะในการซื้อเครื่องมือและเทคโนโลยี AI ขั้นสูง ผลจากปัญหาเหล่านี้หน่วยงานภูมิภาคหลายแห่งต้องยกเลิกโครงการ AI ที่เพิ่งเริ่มต้นไม่นาน หรือให้การสนับสนุนแบบพื้นฐานเท่านั้น ทำให้ไม่ได้รับประโยชน์ที่คาดหวังจากการลงทุน [28]

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Foster, Wiewiora, & Donnet [32] ทำสำรวจบทบาทของการจัดการความรู้และการกำกับดูแลความรู้ในการสร้างนวัตกรรมในบริบทของโครงการในองค์กรที่เป็นเจ้าของโดยรัฐบาลในรัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย งานวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาเชิงคุณภาพและการวิเคราะห์กรณีศึกษาเพื่อทำความเข้าใจว่ากลไกการกำกับดูแลความรู้สามารถช่วยในการจัดการความรู้เพื่อสร้างนวัตกรรมได้อย่างไร งานวิจัยนี้พบว่ากลไกการกำกับดูแลความรู้สองประการ ได้แก่ ความไว้วางใจและอิทธิพลที่มีผลต่อกระบวนการนวัตกรรมโดยการสร้างและถ่ายโอนความรู้ใหม่จากโครงการไปยังองค์กร กลไกการกำกับดูแลที่เข้มแข็งช่วยสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกทีมโครงการและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ทำให้การแบ่งปันความรู้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ งานวิจัยยังพบว่าองค์กรที่มีโครงสร้างการกำกับดูแลที่เน้นการสร้างและถ่ายโอนความรู้มีโอกาสสูงขึ้นในการสร้างนวัตกรรมที่มีคุณค่า การวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการสร้างกรอบการจัดการนวัตกรรมที่ใช้ความรู้เป็นฐาน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจัดการโครงการในองค์กรต่างๆ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการจัดการความรู้และการกำกับ

ดูแลที่มีประสิทธิภาพสามารถเพิ่มโอกาสในการสร้างนวัตกรรมและผลลัพธ์ที่มีคุณค่าสำหรับองค์กร

Lee [33] ได้สำรวจแนวปฏิบัติที่ดีที่สุดในการแบ่งปันความรู้และห่วงโซ่คุณค่าความรู้ในบริบทของการจัดการนวัตกรรม งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงออกแบบเพื่อรวมการจัดการความรู้และการจัดการนวัตกรรมเข้าด้วยกันเพื่อปฏิบัติการแบ่งปันความรู้ ทุนความรู้ และคุณค่าความรู้ งานวิจัยนี้พบว่า การแบ่งปันความรู้และการจัดการความรู้เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน การสร้างกรอบการจัดการเชิงกลยุทธ์ที่รวมการจัดการความรู้และการจัดการนวัตกรรมจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานได้ การวิจัยยังพบว่าการใช้เทคโนโลยีในการแบ่งปันความรู้และการจัดการข้อมูลมีผลบวกต่อกระบวนการนวัตกรรมในองค์กร เทคโนโลยีเช่นระบบการจัดการเอกสารและแพลตฟอร์มการสื่อสารช่วยให้การแบ่งปันความรู้เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการสร้างกรอบการจัดการความรู้และนวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการลงทุนในเทคโนโลยีและการพัฒนาทักษะของบุคลากรมีผลบวกต่อการสร้างนวัตกรรมและการเพิ่มมูลค่าในองค์กร

วิเชียร เจตน์วรรณ [1] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในองค์กรในประเทศไทย งานวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาเชิงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมเพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่สำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร งานวิจัยนี้พบว่า ปัจจัยที่สำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กรประกอบด้วย ความพร้อมของเทคโนโลยี โครงสร้างพื้นฐานทรัพยากรบุคคล และวัฒนธรรมองค์กร องค์กรที่มีการใช้เทคโนโลยีทันสมัยและมีโครงสร้างพื้นฐานที่เข้มแข็งมักจะมีความสามารถในการนำ AI มาใช้ได้ดีกว่าองค์กรที่ขาดความพร้อมในด้านนี้ นอกจากนี้ การฝึกอบรมและการพัฒนาบุคลากรในองค์กรเป็นสิ่งที่ช่วยให้พนักงานมีความมั่นใจในการใช้ AI และเห็นประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งาน การวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการวางแผนและนำ AI มาใช้ในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้จะช่วยให้พนักงานมีความยอมรับและปรับตัวได้ดีขึ้น การจัดการความรู้และการสร้างบรรยากาศที่เปิดกว้างสำหรับการเรียนรู้และการ

พัฒนาทักษะใหม่ๆ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร

สุชาติ สุขทอง [2] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กรในประเทศไทย งานวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาเชิงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมเพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่สำคัญในการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กร งานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยที่สำคัญในการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กรประกอบด้วย การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร การจัดการการเปลี่ยนแปลง และการสนับสนุนจากผู้บริหาร การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรเป็นสิ่งที่ช่วยให้พนักงานมีทักษะและความรู้ในการใช้เทคโนโลยีใหม่ การจัดการการเปลี่ยนแปลงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ได้อย่างราบรื่น การวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการวางแผนและนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการสนับสนุนจากผู้บริหารและการสร้างวัฒนธรรมใหม่มาซึ่งจะช่วยให้พนักงานมีความยอมรับและปรับตัวได้ดีขึ้น การวิจัยยังพบว่าการสนับสนุนจากผู้บริหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถก้าวข้ามความท้าทายที่อาจเกิดขึ้นในการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ การมีผู้บริหารที่สนับสนุนและให้ความสำคัญกับการนำเทคโนโลยีใหม่มาซึ่งจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ได้อย่างราบรื่น การวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการวางแผนและนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาซึ่งจะช่วยให้พนักงานมีความยอมรับและปรับตัวได้ดีขึ้น การจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้การนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กรเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

พงษ์เทพ ธงชัย [5] ได้ศึกษาการพัฒนานวัตกรรมในองค์กรในประเทศไทย งานวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาเชิงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมเพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนานวัตกรรมในองค์กร งานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนานวัตกรรมในองค์กรประกอบด้วย การสร้างแนวคิดนวัตกรรม การพัฒนานวัตกรรม และการนำเสนอนวัตกรรม การสร้างแนวคิดนวัตกรรมหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถสร้างแนวคิดใหม่ๆ ที่สามารถนำไปพัฒนาเป็น

ผลิตภัณฑ์หรือบริการได้ การพัฒนานวัตกรรมหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถนำแนวคิดนวัตกรรมมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ใช้งานได้จริง การนำเสนอนวัตกรรมหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถนำผลิตภัณฑ์หรือบริการที่พัฒนาแล้วไปเสนอต่อลูกค้าหรือผู้ใช้ การวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการวางแผนและพัฒนานวัตกรรมในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการสร้างระบบจัดการนวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถนำแนวคิดนวัตกรรมไปพัฒนาและนำเสนอต่อลูกค้าหรือผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนานวัตกรรมที่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้จะช่วยให้องค์กรสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน

สมคิด ศิริพงษ์ [9] ได้ศึกษาการจัดการการเปลี่ยนแปลงในองค์กรในประเทศไทย งานวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาเชิงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมเพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่สำคัญในการจัดการการเปลี่ยนแปลงในองค์กร งานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยที่สำคัญในการจัดการการเปลี่ยนแปลงในองค์กรประกอบด้วย การวางแผนการเปลี่ยนแปลง การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลง และการสนับสนุนจากผู้บริหาร การวางแผนการเปลี่ยนแปลงหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถวางแผนการนำการเปลี่ยนแปลงมาใช้ในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงหมายถึงกระบวนการที่องค์กรสามารถบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงให้เกิดผลลัพธ์ที่ต้องการ การสนับสนุนจากผู้บริหารหมายถึงการที่ผู้บริหารองค์กรให้การสนับสนุนและส่งเสริมการนำการเปลี่ยนแปลงมาใช้ในองค์กร การวิจัยนี้มีส่วนช่วยในการวางแผนและจัดการการเปลี่ยนแปลงในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำการเปลี่ยนแปลงมาใช้ได้อย่างราบรื่น การสนับสนุนจากผู้บริหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถก้าวข้ามความท้าทายที่อาจเกิดขึ้นในการนำการเปลี่ยนแปลงมาใช้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การกำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย ในขั้นตอนแรกของการดำเนินการวิจัย กำหนดปัญหาที่ต้องการ

ศึกษาและวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างชัดเจน การกำหนดปัญหาที่ชัดเจนเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะช่วยให้การวิจัยมีทิศทางที่แน่นอนและสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างชัดเจนจะช่วยให้การวิจัยมีความชัดเจนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ตัวอย่างเช่น หากต้องการศึกษาเรื่อง "ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร" อาจกำหนดปัญหาว่า "อะไรคือปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร?" และวัตถุประสงค์ของการวิจัยว่า "เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร"

2. การทบทวนวรรณกรรม การทบทวนวรรณกรรมเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการวิจัยเชิงทฤษฎี เนื่องจากช่วยให้เข้าใจแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัย การทบทวนวรรณกรรมคือการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีอยู่ เช่น หนังสือ ตำรา เอกสารการสอน และเนื้อหาจากอินเทอร์เน็ต เพื่อสร้างความเข้าใจในแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัย นอกจากนี้ การทบทวนวรรณกรรมยังช่วยให้ทราบถึงการวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา มีผลการวิจัยอะไรบ้าง ซึ่งจะเป็แนวทางในการดำเนินการวิจัยของ

3. การกำหนดกรอบแนวคิดและสมมติฐานการวิจัย การกำหนดกรอบแนวคิดและสมมติฐานการวิจัยเป็นขั้นตอนที่ช่วยให้มีแนวทางในการวิจัยที่ชัดเจน กรอบแนวคิดในการวิจัยคือการกำหนดโครงสร้างและแนวทางในการศึกษา โดยอ้างอิงจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สมมติฐานการวิจัยคือข้อสมมติที่คาดหวังว่าจะเป็นจริงในการวิจัย ตัวอย่างเช่น หากกำลังศึกษาเรื่อง "ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร" กรอบแนวคิดอาจประกอบด้วยปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ เช่น ความพร้อมของเทคโนโลยี โครงสร้างพื้นฐานทรัพยากรบุคคล และวัฒนธรรมองค์กร ส่วนสมมติฐานการวิจัยอาจเป็น "ความพร้อมของเทคโนโลยีมีผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร"

5. การรวบรวมข้อมูลทฤษฎี การรวบรวมข้อมูลทฤษฎีคือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่แล้วจากแหล่งต่างๆ ข้อมูลทฤษฎีสามารถมาจากหนังสือ ตำรา เอกสารการสอน เนื้อหาจากอินเทอร์เน็ต รายงานทางเทคนิค และบทความที่เกี่ยวข้อง การเลือกแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้ในการวิจัยเป็นสิ่งสำคัญ การรวบรวมข้อมูลทฤษฎีเป็นกระบวนการที่

ช่วยให้มีข้อมูลที่เพียงพอและหลากหลายในการวิจัย ควรพิจารณาแหล่งข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กับหัวข้อการวิจัยและสามารถสืบค้นได้จริง การเลือกและประเมินความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูลทฤษฎีเป็นสิ่งสำคัญในการรวบรวมข้อมูล

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทฤษฎี การวิเคราะห์ข้อมูลทฤษฎีเป็นขั้นตอนที่นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาวิเคราะห์และสรุปผล การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น การวิเคราะห์เนื้อหา เป็นวิธีที่ใช้ในการทำความเข้าใจในบริบทและความหมายของข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลทฤษฎีช่วยให้สามารถระบุแนวโน้มและปัจจัยที่มีผลต่อหัวข้อการวิจัยได้อย่างชัดเจน ควรใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมและอธิบายผลการวิเคราะห์ในบริบทของการนำ AI มาใช้ในองค์กร การวิเคราะห์ข้อมูลทฤษฎีที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้สามารถสรุปผลการวิจัยได้อย่างถูกต้อง

7. การตีความผลและสรุปผลการวิจัย การตีความผลและสรุปผลการวิจัยเป็นขั้นตอนที่นำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมาตีความและสรุปผลการวิจัย ผลการวิจัยควรสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสมมติฐานการวิจัย ควรอธิบายผลการวิจัยให้ชัดเจนและเชื่อมโยงกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การตีความผลการวิจัยช่วยให้เข้าใจผลกระทบของปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร ควรสรุปผลการวิจัยให้ชัดเจนและนำเสนอข้อเสนอนี้ที่เป็นประโยชน์ต่อองค์กรในการนำ AI มาใช้

8. การเสนอแนะแนวทางในการนำ AI มาใช้ในองค์กร การเสนอแนะแนวทางในการนำ AI มาใช้ในองค์กรเป็นขั้นตอนที่นำผลการวิจัยและการทบทวนวรรณกรรมมาใช้ในการเสนอแนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ แนวทางควรเป็นการปรับปรุงและพัฒนาการนำ AI มาใช้ในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ การเสนอแนะแนวทางควรมีความชัดเจนและเป็นประโยชน์ต่อองค์กร ควรเสนอแนะแนวทางที่สามารถนำไปใช้ได้จริงและมีผลกระทบเชิงบวกต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร การเสนอแนะแนวทางที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับปรุงการดำเนินงานและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้

9. การเขียนรายงานการวิจัย การเขียนรายงานการวิจัยเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการดำเนินการวิจัย รายงานการวิจัยควรมีเนื้อหาและโครงสร้างที่ชัดเจน ประกอบด้วยบทนำ การทบทวนวรรณกรรม วิธีการวิจัย ผลการวิเคราะห์ข้อมูล การตีความผล

และสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ การเขียนรายงานการวิจัยควรใช้ภาษาเรียบง่ายและชัดเจน นำเสนอผลการวิจัยและข้อเสนอแนะอย่างเป็นระบบและมีเหตุผล รายงานการวิจัยที่มีคุณภาพจะช่วยให้งานวิจัยมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลวรรณกรรมสำหรับการศึกษาค้นคว้า ผู้วิจัยใช้กระบวนการทบทวนเอกสารอย่างเป็นระบบ (Systematic Literature Review) โดยสืบค้นข้อมูลจากแหล่งวิชาการที่น่าเชื่อถือ ทั้งบทความวิจัย หนังสือตำรา และรายงานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการนำ AI มาใช้ในองค์กร จากนั้นใช้วิธีการอ่านอย่างละเอียดเพื่อรวบรวมประเด็นสำคัญ และแบ่งเนื้อหาออกเป็นกลุ่มตามหมวดหมู่ปัจจัย เช่น ด้านเทคโนโลยี บุคลากร การเปลี่ยนแปลงองค์กร และการประเมินผล

ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบ (Comparative Analysis) เพื่อเปรียบเทียบและเชื่อมโยงเนื้อหาจากแต่ละแหล่ง จนสามารถสังเคราะห์ออกมาเป็น “ปัจจัยหลัก 4 ด้าน” โดยพิจารณาคำสอดคล้องของหลักฐาน งานวิจัย และทฤษฎีในแต่ละกลุ่มอย่างครอบคลุม หลังจากนั้นตรวจสอบความน่าเชื่อถือของประเด็นต่าง ๆ โดยเช็กซ้ำกับงานวิจัยที่มีน้ำหนักและอ้างอิงบ่อย เพื่อยืนยันว่าปัจจัยดังกล่าวมีความเป็นสากลและได้รับการยอมรับในวงวิชาการ

5. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 สรุปผลวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในองค์กร และเพื่อเสนอแนะแนวทางในการนำ AI มาใช้ในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้ใช้วิธีการศึกษาเชิงทฤษฎี โดยการทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อทำความเข้าใจปัจจัยที่สำคัญในการนำ AI มาใช้และการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงในองค์กร

ผลการวิจัยพบว่าหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำ AI มาใช้ในองค์กร

ปัจจัยแรกคือ ความพร้อมของเทคโนโลยีและนวัตกรรมองค์กรที่มีการใช้เทคโนโลยีทันสมัยและมีการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆ อยู่เสมอมักจะมีความสามารถในการนำ AI มาใช้ได้

ดีกว่าองค์กรที่ขาดความพร้อมในด้านนี้ การมีระบบโครงสร้างพื้นฐานที่แข็งแกร่ง เช่น เซิร์ฟเวอร์ และเครือข่ายที่สามารถรองรับการทำงานของ AI เป็นสิ่งสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กรได้อย่างราบรื่น

ปัจจัยที่สองคือ การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร การให้พนักงานได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้ AI และการพัฒนาทักษะที่จำเป็นจะช่วยให้การนำ AI มาใช้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้จะช่วยให้งานมีความยอมรับและปรับตัวได้ดีขึ้น การสร้างบรรยากาศที่เปิดกว้างสำหรับการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะใหม่ๆ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร

ปัจจัยที่สามคือ การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลง การวางแผนและการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงจะช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำ AI มาใช้ได้อย่างราบรื่น การมีผู้บริหารที่สนับสนุนและให้ความสำคัญกับการนำ AI มาใช้จะช่วยให้องค์กรสามารถก้าวข้ามความท้าทายที่อาจเกิดขึ้น การจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้การนำ AI มาใช้ในองค์กรเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

ปัจจัยที่สี่คือ การประเมินผลและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง การประเมินผลการใช้ AI ในการดำเนินงานและการปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจะช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การรักษาความมั่นคงและความปลอดภัยของระบบ AI เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเพื่อป้องกันการโจมตีและการขโมยข้อมูล

ปัจจัยในการนำ AI มาใช้ในองค์กร



ภาพที่ 1 ปัจจัยในการนำ Ai มาใช้ในองค์กร

ตรวจทานการบรรยายเกี่ยวกับปัจจัยสี่ด้าน

1. องค์กรควรลงทุนในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่สามารถรองรับการทำงานของ AI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งเสริมการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆ เพื่อให้เกิดความร่วมมือในการนำ AI มาใช้

2. การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรเป็นสิ่งสำคัญ องค์กรควรจัดให้มีการฝึกอบรมและพัฒนาทักษะที่จำเป็นสำหรับการใช้ AI และสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะใหม่ๆ

3. การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงควรมีการวางแผนและการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้บริหารควรให้การสนับสนุนและส่งเสริมการนำ AI มาใช้ในองค์กรเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ราบรื่น

4. การประเมินผลและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งสำคัญ องค์กรควรทำการประเมินผลการใช้ AI อย่างสม่ำเสมอ และปรับปรุงระบบให้มีความมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงให้ความสำคัญกับความมั่นคงและความปลอดภัยของระบบ AI

5.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำปัญญาประดิษฐ์ (AI) มาใช้ในองค์กร บทความนี้จะตรวจทานการบรรยายปัจจัยสี่ด้านทั้งหมด เพื่อให้เห็นว่าปัจจัยใด 2 ด้านเป็นปัจจัยพื้นฐาน (ความพร้อม) และปัจจัยใด 2 ด้านเป็นปัจจัยบริหารจัดการ (การดำเนินการ) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ความพร้อมของเทคโนโลยีและนวัตกรรม

ความพร้อมของเทคโนโลยีและนวัตกรรมเป็นรากฐานสำคัญที่องค์กรต้องมีก่อนนำ AI มาใช้ เนื่องจากการนำ AI มาใช้นั้นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ องค์กรที่มีการลงทุนในเทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง มักจะมีความสามารถในการนำ AI มาใช้ได้ดีกว่าองค์กรที่ขาดความพร้อมในด้านนี้ การมีระบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ที่แข็งแกร่ง เช่น เซิร์ฟเวอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เครือข่ายที่มีแบนด์วิธที่เพียงพอ และระบบจัดเก็บข้อมูล (Data Storage) ที่รองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมาก จะช่วยให้การประมวลผลข้อมูลและการคำนวณของ AI เป็นไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การสร้างระบบการรวบรวมและบูรณาการข้อมูลจากแหล่งต่างๆ (Data Integration) ก็เป็นสิ่งสำคัญ เพราะทำให้

ข้อมูลที่ใช้ฝึกอบรมโมเดล AI มีความครบถ้วน แม่นยำ และสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาวัตกรรมการที่สอดคล้องกับความต้องการขององค์กรจะช่วยให้องค์กรสามารถระบุและเลือกใช้เทคโนโลยี AI ที่เหมาะสมที่สุด เช่น ระบบวิเคราะห์ข้อมูลอัจฉริยะ (Intelligent Analytics) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือระบบช่วยตัดสินใจ (Decision Support Systems) นอกเหนือจากการปรับปรุงซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์แล้ว การสำรองข้อมูลและระบบรักษาความปลอดภัยไซเบอร์ก็เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างพื้นฐานที่ไม่ควรละเลย เพื่อป้องกันข้อมูลการสูญหาย การเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือการโจมตีไซเบอร์ เช่นเดียวกับ Goodfellow, Bengio, และ Courville [34] ระบุว่า การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆ เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Russell และ Norvig [35] ยังชี้ให้เห็นว่าการมีระบบโครงสร้างพื้นฐานที่แข็งแกร่ง เช่น เซิร์ฟเวอร์และเครือข่ายที่สามารถรองรับการทำงานของ AI เป็นสิ่งสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กรได้อย่างราบรื่น ยังสอดคล้องกับ วิเชียร เจตน์วรรณ [1] ที่พบว่าองค์กรที่มีการใช้เทคโนโลยีทันสมัยและมีโครงสร้างพื้นฐานที่แข็งแกร่งมักจะสามารถในการนำ AI มาใช้ได้ดีกว่าองค์กรที่ขาดความพร้อมในด้านนี้ การเตรียมความพร้อมด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

2) การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากร

การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญอีกด้านหนึ่ง เพราะคนเป็นตัวทำให้ AI มีชีวิตและสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การให้พนักงานได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้ AI และการพัฒนาทักษะที่จำเป็น เช่น ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับ AI การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ AI จะช่วยลดความกังวลและเพิ่มความมั่นใจในการทำงาน นอกจากการฝึกอบรมพื้นฐานแล้ว การจัดเวิร์กช็อปและสัมมนาเชิงปฏิบัติการที่เน้นการใช้งานจริง และการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างทีมงาน จะช่วยให้พนักงานเข้าใจและสามารถแก้ไขปัญหาในสถานการณ์งานจริงได้ดีขึ้น การสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ภายในองค์กร (Learning Environment) ที่เปิดรับและส่งเสริมการพัฒนาทักษะใหม่ๆ จะ

ทำให้พนักงานรู้สึกว่าได้รับการสนับสนุน และเกิดวัฒนธรรมการเรียนรู้แบบต่อเนื่อง (Continuous Learning Culture) นอกจากนี้ การสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่เปิดรับการเปลี่ยนแปลง ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และให้โอกาสในการทดลองสิ่งใหม่ๆ จะช่วยให้พนักงานยอมรับการนำ AI มาใช้ได้ดียิ่งขึ้น ผลลัพธ์คือ พนักงานที่มีทักษะและความรู้เพียงพอจะกลายเป็นพลังขับเคลื่อนสำคัญในการนำ AI ไปประยุกต์ใช้อย่างสร้างสรรค์ในการทำงานประจำวันสอดคล้องกับ Geron [36] ที่ระบุว่าการศึกษาและพัฒนาศักยภาพของบุคลากรเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้การนำ AI มาใช้ในองค์กรประสบความสำเร็จ นอกจากนี้ การส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้จะช่วยให้พนักงานมีความยอมรับและปรับตัวได้ดีขึ้น ยังสอดคล้องกับ Schein [37] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการสร้างบรรยากาศที่เปิดกว้างสำหรับการเรียนรู้และการพัฒนาทักษะใหม่ๆ จะเป็นปัจจัยสำคัญในการนำ AI มาใช้ในองค์กร และสอดคล้องกับ สุชาติ สุทอง [2] ที่พบว่าการศึกษาและพัฒนาศักยภาพบุคลากรเป็นสิ่งสำคัญในการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กร การให้พนักงานได้รับการฝึกอบรมและพัฒนาทักษะที่จำเป็นจะช่วยให้พนักงานมีความมั่นใจในการใช้ AI และเห็นประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งาน การส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กรที่สนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้จะช่วยให้พนักงานมีความยอมรับและปรับตัวได้ดีขึ้น ความพร้อมด้านเทคโนโลยีและบุคลากรเพียงอย่างเดียวไม่พอ ต้องอาศัยการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลง เพื่อให้สามารถนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ได้อย่างราบรื่น ดังนั้น ปัจจัยสองด้านข้างต้นเป็นฐานที่ต้องมีก่อน โดยไม่สามารถดำเนินการได้เพื่อให้ประสบความสำเร็จ องค์กรจำเป็นต้องจัดการการนำ AI ไปใช้ด้วยการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงและการประเมินผลต่อเนื่อง

ความพร้อมด้านเทคโนโลยีและบุคลากรเพียงอย่างเดียวไม่พอ องค์กรจำเป็นต้องมี ปัจจัยด้านการบริหารจัดการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ได้อย่างราบรื่น

3) การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลง

การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงเป็นปัจจัยที่สำคัญซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างราบรื่นและบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ การวางแผนการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน โดย

กำหนดเป้าหมาย ระยะเวลา และทรัพยากรที่จำเป็น เป็นจุดเริ่มต้นสำคัญ การสื่อสารวิสัยทัศน์และประโยชน์ของการนำ AI มาใช้ให้กับพนักงานอย่างโปร่งใส ตรงไปตรงมา จะช่วยให้พนักงานเข้าใจว่าเหตุใดต้องมีการเปลี่ยนแปลง และจะได้รับประโยชน์อะไรบ้าง ส่งผลให้ลดความต้านทานและสร้างความสมัครใจในการเข้าร่วม การรับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากทุกระดับขององค์กร จะช่วยให้พนักงานรู้สึกว่ามีส่วนร่วมในกระบวนการเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดความรับผิดชอบและปรับตัวได้ดีขึ้น บทบาทของผู้บริหารและผู้นำองค์กรเป็นอีกปัจจัยสำคัญ โดยผู้นำที่มีวิสัยทัศน์ชัดเจน มีความมุ่งมั่น และให้การสนับสนุนที่จริงจัง จะสามารถชี้นำองค์กรให้ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลได้อย่างเป็นระบบ ทำให้เจ้าหน้าที่ที่มีความมั่นใจว่ากำลังเดินในทิศทางที่ถูกต้อง การวางแผนและบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสะพานเชื่อมสำคัญระหว่างความพร้อมและการนำ AI ไปใช้จริงในองค์กร สอดคล้องกับ Kotter [38] ระบุว่าการศึกษาความพร้อม การพัฒนาวิสัยทัศน์ และการสื่อสารวิสัยทัศน์เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงประสบความสำเร็จ นอกจากนี้ การมีผู้บริหารที่สนับสนุนและให้ความสำคัญกับการนำ AI มาใช้จะช่วยให้องค์กรสามารถก้าวข้ามความท้าทายที่อาจเกิดขึ้น และสอดคล้องกับ Brynjolfsson และ McAfee [39] ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิภาพ จะช่วยให้การนำ AI มาใช้ในองค์กรเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับ สมคิด ศิริพงษ์ [9] ที่พบว่า การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงเป็นปัจจัยสำคัญในการนำ การเปลี่ยนแปลงมาใช้ในองค์กร การวางแผนการเปลี่ยนแปลง และการสนับสนุนจากผู้บริหารเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถปรับตัวและยอมรับการนำการเปลี่ยนแปลงมาใช้ได้อย่างราบรื่น

4) การประเมินผลและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

การประเมินผลและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นปัจจัยสุดท้ายแต่สำคัญที่มากในการนำ AI มาใช้ในองค์กรอย่างยั่งยืน การประเมินผลคือกระบวนการติดตามและวิเคราะห์ความสำเร็จของการนำ AI มาใช้ โดยกำหนดตัวชี้วัด (Key Performance Indicators - KPIs) ที่ชัดเจน เช่น ความแม่นยำของโมเดล AI ประสิทธิภาพการทำงาน ความพึงพอใจของผู้ใช้ และผลกระทบต่อการทำงานของประสิทธิภาพองค์กร การเก็บ

รวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์ผลตอบรับจากทั้งผู้ใช้และเจ้าหน้าที่จะช่วยให้องค์กรระบุจุดแข็งและจุดอ่อนของระบบ AI ได้อย่างชัดเจน การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) หมายถึงการนำผลการประเมินมาใช้ในการปรับแต่ง ปรับปรุง หรือพัฒนาระบบ AI ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยการแก้ไขข้อบกพร่อง การอัปเดตโมเดล ลดต้นทุน หรือปรับกระบวนการให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและความต้องการขององค์กร การรักษาความมั่นคงและความปลอดภัยของระบบ AI ต้องทำอย่างต่อเนื่อง โดยใช้นโยบายรักษาความปลอดภัยที่เข้มงวด อัปเดตระบบอย่างสม่ำเสมอ ตรวจสอบและเฝ้าระวังภัยคุกคาม จะช่วยป้องกันการโจมตีและการขโมยข้อมูล รักษาความเชื่อถือนของระบบ ผลลัพธ์ของการประเมินและปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพคือ วงจรการเรียนรู้และการพัฒนา (Learning Loop) ที่ทำให้องค์กรมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับตัวทันต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับ Sutton และ Barto [40] ระบุว่า การประเมินผลและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้องค์กร AI มีประสิทธิภาพและคงความทันสมัย กระบวนการประเมินผลควรประกอบด้วย การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ AI และการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ การปรับปรุงอย่างต่อเนื่องคือกระบวนการที่ใช้ในการพัฒนาระบบ AI โดยการแก้ไขข้อบกพร่องและการปรับปรุงสมรรถนะของระบบเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การรักษาความมั่นคงและความปลอดภัยของระบบ AI เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเพื่อป้องกันการโจมตีและการขโมยข้อมูล งานวิจัยของ Stallings [41] ชี้ให้เห็นว่าการรักษาความมั่นคงและความปลอดภัยของระบบเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมั่นคง การปรับปรุงความมั่นคงและความปลอดภัยของระบบควรเป็นกระบวนการที่ทำอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถป้องกันภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นได้ และยังคงสอดคล้องกับ ฌีรูฟ พงศ์ประเสริฐ [12] ที่พบว่า การประเมินผลและการปรับปรุงระบบเทคโนโลยีเป็นสิ่งสำคัญในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในองค์กร การประเมินผลอย่างสม่ำเสมอและการปรับปรุงระบบให้มีความมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะช่วยให้องค์กรสามารถนำ AI มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด การประเมินผลควรรวมถึงการ

วิเคราะห์ผลกระทบที่ AI มีต่อองค์กรและการปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการขององค์กร หลังจากให้องค์กรมีความพร้อมด้านเทคโนโลยีและบุคลากรตามสองประการที่กล่าวมาแล้ว ปัจจัยสำคัญที่ย่อมต้องมีคือการจัดการการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นระบบ ซึ่งไม่ใช่การเตรียมความพร้อม แต่เป็นการ นำ AI ไปใช้ในองค์กรอย่างรวดเร็ว ด้วยการสื่อสาร วางแผน และการสนับสนุนจากผู้บริหาร

การบูรณาการปัจจัยสี่ด้าน

จากการศึกษาอย่างละเอียด พบว่าปัจจัยทั้งสี่นี้มีความสัมพันธ์และเสริมซึ่งกันและกัน ปัจจัย 2 ด้านแรก (ความพร้อมด้านเทคโนโลยีและบุคลากร) ถือเป็นฐานรากที่จำเป็นต้องมีอยู่ก่อน หากไม่มีความพร้อมเหล่านี้ การนำ AI มาใช้จะประสบปัญหาตั้งแต่เริ่มต้น ปัจจัย 2 ด้านหลัง (การบริหารจัดการและการประเมินผล) ถือเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้การนำ AI ไปใช้งานเป็นไปอย่างราบรื่น และยั่งยืนในระยะยาว หากองค์กรมีความพร้อมแล้ว แต่ไม่มีการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงที่ดี พนักงานก็อาจต่อต้านหรือปรับตัวได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพของ AI ไม่ออกมาตรงตามที่คาดหวัง ในทำนองเดียวกัน หากไม่มีการประเมินผลและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ระบบ AI ก็อาจตกลงมาตรฐาน หรือไม่ตอบสนองความต้องการขององค์กรที่เปลี่ยนแปลงไป การบูรณาการปัจจัยทั้งสี่นี้อย่างกลมกลืนจึงเป็นกุญแจสำคัญต่อความสำเร็จในการนำ AI มาใช้ในองค์กร โดยสนับสนุนให้องค์กรไทย ทั้งขนาดใหญ่น SME และหน่วยงานภาครัฐ สามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและสร้างนวัตกรรมใหม่อย่างยั่งยืนในยุคดิจิทัล

การอ้างอิง

- [1] ว. เจตนาวรรณ, การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในองค์กร, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2564.
- [2] ส. สุขทอง, ปัจจัยที่ส่งผลต่อการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กร, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2563.

- [3] ป. บุญมา, เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการบริหารองค์กร, เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562.
- [4] อ. จันทร์ฉาย, โครงสร้างพื้นฐานในการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้, ขอนแก่น: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2561.
- [5] พ. ธงชัย, การพัฒนานวัตกรรมในองค์กร, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2562.
- [6] ก. ชาญชัย, การฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรในองค์กร, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2563.
- [7] ท. แสงสว่าง, วัฒนธรรมองค์กรและการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้, เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2561.
- [8] ณ. จิตรวงศ์, การสร้างบรรยากาศในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะในองค์กร, ขอนแก่น: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2560.
- [9] ส. ศิริพงษ์, การบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลงในองค์กร, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2562.
- [10] ว. ศิริวงษ์, การสนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กร, ขอนแก่น: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2561.
- [11] ก. ชุมพล, การจัดการการเปลี่ยนแปลงในองค์กร, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.
- [12] ณ. พงศ์ประเสริฐ, การประเมินผลและการปรับปรุงการใช้เทคโนโลยีในองค์กร, เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562.
- [13] ส. ศรีสุข, ความมั่นคงและความปลอดภัยในการใช้เทคโนโลยีใหม่, ขอนแก่น: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2561.
- [14] ส. ศรีวรพล, การประเมินผลและการปรับปรุงการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2563.
- [15] ข. พัฒนาศักดิ์, การวิเคราะห์ปัจจัยในการนำเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในองค์กร, เชียงใหม่: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562.
- [16] F. D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology," *MIS Quarterly*, เล่มที่ 13, %13, pp. 319-340, 1989.
- [17] V. & D. F. D. Venkatesh, "A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies," *Management Science*, เล่มที่ 46, %12, pp. 186-204, 200.
- [18] V. M. M. G. D. G. B. & D. F. D. Venkatesh, "User acceptance of information technology: Toward a unified view," *MIS Quarterly*, เล่มที่ 27, %13, pp. 425-478, 203.
- [19] J. P. Kotter, *Leading change*, Harvard Business Review Press, 1996.
- [20] C. & S. D. A. Argyris, *Organizational learning: A theory of action perspective*, Addison-Wesley, 1987.
- [21] I. & T. H. Nonaka, *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*, Oxford University Press, 1995.
- [22] M. & L. D. E. Alavi, "Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues," *MIS Quarterly*, เล่มที่ 25, %11, pp. 107-136, 2001.
- [23] J. & B. J. Tidd, *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change* (6th ed.), Wiley, 2020.
- [24] P. F. Drucker, *Innovation and entrepreneurship: Practice and principles*, Harper & Row, 1985.
- [25] M. Scriven, "The checklist imperative," *New Directions for Evaluation*, %1163, p. 19-30, 2019.

- [26] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, “การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค,” 22 พฤศจิกายน 2567. [ออนไลน์]. Available: <https://www.pea.co.th/news/corporate-news/582>. [%1 ที่เข้าถึง 17 12 2568].
- [27] B. Inside, “ซีพี ออลล์-เซเว่น อีเลฟเว่น ตั้งเป้าให้พนักงานกว่า 60% ใช้ AI ภายในปี 2571,” 5 สิงหาคม 2568. [ออนไลน์]. Available: <https://brandinside.asia/cp-all-seven-eleven-creative-ai-camp/>.
- [28] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, “รัฐบาลเร่งขับเคลื่อนแผน AI แห่งชาติ ลุยปั้นคน ลงทุนโครงสร้างปลายทาง,” 1 พฤษภาคม 2568. [ออนไลน์]. Available: https://www.nstda.or.th/home/news_post/naic-20250502/.
- [29] coraline, “coraline,” บริษัท คอร์ไลน์ จำกัด, 14 กุมภาพันธ์ 2568. [ออนไลน์]. Available: <https://www.coraline.co.th/posts/6-ความล้มเหลวในการใช้-AI>. [%1 ที่เข้าถึง 17 กรกฎาคม 2568].
- [30] B. I. News, “SME ไทย 7 จาก 10 “ไม่สามารถนำ AI มาใช้ได้,” 26 สิงหาคม 2568. [ออนไลน์]. Available: <https://th.bkk-it.news/thailand-sme-ai-adoption-gap-skill-shortage/>.
- [31] นินจาการตลาด, “ล้มเหลวทุกความล้มเหลว เปิด 6 เหตุผลที่ธุรกิจ SME ใช้ AI ไม่สำเร็จ,” 25 สิงหาคม 2568. [ออนไลน์]. Available: <https://www.ninjakantalad.com/sme-fail-use-ai/>.
- [32] L. W. A. & D. T. Foster, “Integrating knowledge management and governance for innovation outcomes: A new framework for managing innovation in a project environment,” *Journal of the Knowledge Economy*, เล่มที่ 15, pp. 7143-7171, 2023.
- [33] M.-C. Lee, “Knowledge management and innovation management: Best practices in knowledge sharing and knowledge value chain,” *International Journal of Innovation and Learning*, เล่มที่ 19, %12, pp. 206-226, 2016.
- [34] I. B. Y. & C. A. Goodfellow, Deep learning, MIT Press, 2016.
- [35] S. J. & N. P. Russell, Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.), Prentice Hall, 2020.
- [36] A. Géron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems, O'Reilly Media, 2019.
- [37] E. H. Schein, Organizational culture and leadership, John Wiley & Sons, 2010.
- [38] J. P. Kotter, Leading change, Harvard Business Review Press., 2012.
- [39] E. & M. A. Brynjolfsson, The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies, W. W. Norton & Company., 2014.
- [40] R. S. & B. A. G. Sutton, Reinforcement learning: An introduction, MIT Press, 2018.
- [41] W. Stallings, Network security essentials: Applications and standards, Pearson, 2018.



การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส LPG และอุปกรณ์ปิดวาล์ว
ตั้งแก๊สอัตโนมัติด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง
**The Development of LPG Gas detection Applications and
Automatic Valve control with Internet of things**

ทรรศนีย์ หัตถิยา*, มุสลิม สะอู, นูรุลฮุดา ยูโซะ และ Fitriya Salaeh

Tassanee Hattiya*, Muslim Sa-au, Nurulhuda Yusoh and Fitriya Salaeh

tassanee.h@rmutsv.ac.th*, muslim.s@rmutsvmail.com, nurulhuda.y@rmutsvmail.com,

fitriya.s@rmutsvmail.com

สาขาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

Information System, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology

Srivijaya Songkhla

Received: June 24, 2025; Revised: September 3, 2025; Accepted: November 7, 2025; Published: December 27, 2025

ABSTRACT - This paper presents the development and implementation of an IoT-enabled gas leak detection and alert system designed to improve safety in environments where LPG and similar gases are used. This system monitors gas concentration in real-time using the MQ-5 gas sensor integrated with the ESP8266 NodeMCU V2 microcontroller. When gas levels exceed safe thresholds, a multi-level alert system is triggered, which includes notifications via LINE Notify and an automatic shut-off mechanism to close the gas valve using a Servo Motor. The system operates autonomously, providing rapid responses to mitigate risks associated with gas leaks. Our results demonstrate the effectiveness of this system in reducing the risks of health hazards and fire outbreaks due to gas leaks.

KEYWORDS -- Gas leak detection, Internet of Things, Sensor

บทคัดย่อ - ระบบตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหลนี้ออกแบบมาเพื่อตอบสนองความต้องการด้านความปลอดภัยจากการใช้งานแก๊สในสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งอาจเกิดการรั่วไหลได้จากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์หรือการใช้งานที่ไม่ถูกต้อง ระบบนี้ใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและแจ้งเตือนการรั่วไหล โดยการใช้งาน เช่น เซอร์แก๊ส MQ-5 ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 NodeMCU V2 เพื่อรับค่าและตรวจสอบความเข้มข้นของแก๊สในอากาศ หากค่าที่ตรวจจับได้เกินกว่าระดับปลอดภัย ระบบจะสั่งการให้แจ้งเตือนผ่าน LINE Notify และยังมีระบบปิดวาล์วอัตโนมัติที่ควบคุมด้วย Servo Motor เพื่อลดความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน อุปกรณ์นี้มีการออกแบบให้ทำงานแบบอัตโนมัติโดยครอบคลุมขอบเขตที่สำคัญ เช่น การตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส LPG การส่งเสียงแจ้งเตือน การแจ้งเตือนผ่าน LINE และการปิดวาล์วแก๊สเมื่อพบการรั่วไหล ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยลดความเสี่ยงจากการสูดดมแก๊สที่อาจก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและป้องกันการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิด ผลที่ได้จากการศึกษาและพัฒนานี้ คือ การได้ระบบตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหลผ่านไลน์ที่มีประสิทธิภาพ ช่วยให้ผู้ได้รับทราบเหตุการณ์ได้ทันที และสามารถลดความเสี่ยงที่เกิดจากการรั่วไหลของแก๊สได้

คำสำคัญ – ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, เซ็นเซอร์

1. บทนำ

อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) [1] คือ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อถึงกันด้วยอินเทอร์เน็ต สิ่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ใช้เซ็นเซอร์เพื่อรวบรวมข้อมูลและตอบสนองต่อผู้ใช้ได้อย่างชาญฉลาด โดยอุปกรณ์เหล่านี้สามารถรวบรวมข้อมูลและส่งข้อมูลระหว่างกันได้ อุปกรณ์เหล่านี้สามารถเป็นสิ่งที่ของต่าง ๆ ที่อำนวยความสะดวกที่เราใช้อยู่รอบตัว จะทำให้สามารถควบคุมและจัดการกระบวนการทำงานได้อย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพมากขึ้น IoT ถูกประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการแพทย์ Healthcare, ด้านการเกษตรและอาหาร, ด้านการขนส่งและยานพาหนะ, ด้านสิ่งแวดล้อมและที่อยู่อาศัย, ด้านสาธารณสุข และในด้านความปลอดภัย อุปกรณ์ IoT สามารถใช้เพื่อตรวจจับการบุกรุก การลักขโมย เพื่อป้องกันการสูญเสียวินัยและชีวิต กล้องวงจรปิด ประตูอัจฉริยะ ระบบแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉิน อัคคีภัย และแก๊สรั่วในบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งการรั่วไหลของแก๊ส

ซึ่งสาเหตุการรั่วไหลของแก๊ส ได้แก่ ความประมาทของผู้ใช้งาน ลืมปิดวาล์วแก๊สหลังใช้งาน ท่อแก๊สชำรุด หัวเตาแก๊สหลวม และการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ที่เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดแก๊สรั่วได้เช่นกัน เช่น ท่อแก๊สเสื่อมสภาพ วาล์วแก๊สเสื่อมสภาพ เป็นต้น โดยอุปกรณ์เหล่านี้มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี หากเกินระยะเวลาการใช้งานที่กำหนด ควรเปลี่ยนใหม่ นอกจากนี้การติดตั้งที่ไม่ถูกต้องก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแก๊สรั่วได้เช่นกัน เช่น ติดตั้งท่อแก๊สไม่แน่นหนา ติดตั้งอุปกรณ์ไม่ถูกต้อง เป็นต้น ทั้งนี้การติดตั้งอุปกรณ์แก๊สควรให้ช่างที่มีความรู้ความชำนาญเป็นผู้ติดตั้ง มิเช่นนั้นอาจเกิดอันตรายได้ และเมื่อการรั่วไหลของแก๊สไม่สามารถรับรู้เหตุการณ์ได้ทันที ไม่ส่งกลิ่นหรือได้รับกลิ่นในปริมาณที่เกินอันตรายแล้ว

ดังนั้น จากปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สและแจ้งเตือนผ่านไลน์ เกิดจากความต้องการในการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดจากระบบแก๊สที่รั่วไหลในสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ ตรวจจับและแจ้งเตือนทันทีเมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น โดยการใช้ อุปกรณ์ IoT เป็นบอร์ด ESP8266 NodeMCU V2 เป็นตัวประมวลผล และเซ็นเซอร์ MQ-5 ใช้วัดหรือตรวจจับแก๊ส ซึ่งให้ระบบ

ตรวจจับมีความไวและแม่นยำในการตรวจจับแก๊ส ทำให้สามารถรับทราบข้อมูลและตอบสนองทันที ด้วยระบบแจ้งเตือนผ่านไลน์ LINE Notify ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่สะดวกและมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ทำให้ผู้ใช้สามารถรับข้อมูลทันทีและติดตามเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว และระบบปิดวาล์วอัตโนมัติด้วยการประยุกต์ใช้ Servo Motor เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อนให้วาล์วตั้งแก๊สปิดได้โดยอัตโนมัติ

ในบทความนี้คณะผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 5 หัวข้อ ในหัวข้อที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย หัวข้อที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบอุปกรณ์ การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สและปิดวาล์วตั้งแก๊สอัตโนมัติ หัวข้อถัดไปอธิบายถึงผลการทดลองและสรุปผลการทดลองในหัวข้อที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Board)

บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2 [2] เป็นบอร์ดที่ใช้ ESP8266 เป็น CPU สำหรับประมวลผลโปรแกรมต่างๆ มีข้อดีกว่า Arduino ตรงที่ตัวมันมีขนาดเล็กกว่า มีพื้นที่เขียนโปรแกรมลงไปมากกว่า และสามารถเชื่อมต่อกับ WIFI ได้ บนบอร์ดรุ่นนี้ใช้ ESP8266 12e มีพื้นที่หน่วยความจำ (ROM) ขนาด 4 MB ซึ่งเพียงพอสำหรับการเขียนโปรแกรมขนาดใหญ่ อีกทั้งภายในยังเป็น Advanced RISC Machine (ARM) ขนาดย่อมใช้ความถี่ถึง 40MHz ทำให้สามารถประมวลผลโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. NodeMCU

2.2 MQ-5-Gas Sensor

เซ็นเซอร์ MQ-5-Gas Sensor Arduino [3] เป็นโมดูลตรวจวัดแก๊สไวไฟกลุ่ม LPG, CH4, Natural Gas, Hydrogen สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สต่าง เพื่อป้องกันอันตรายจากการรั่วไหล โดย MQ-5 เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับแก๊ส LPG (Liquefied Petroleum Gas) หรือแก๊สชนิดอื่น ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงในความเข้มข้นของสารเคมีใน

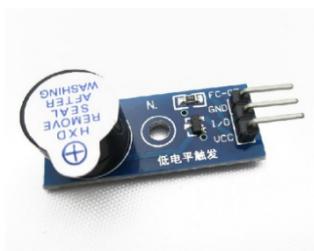
อากาศ เช่น แก๊สเชื้อเพลิง แก๊สธรรมชาติ แก๊สเทียม และอื่น ๆ MQ-5 สามารถใช้งานร่วมกับ Arduino ได้เพื่อตรวจจับค่า LPG และแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD หรือผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้ โดยสามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Arduino C/C++ บน Arduino IDE หรือโปรแกรมอื่น ๆ ที่สามารถเขียนโปรแกรมได้เช่น NodeMCU หรือ ESP8266 การใช้งาน MQ-5 จะต้องใช้งานร่วมกับวงจรเพิ่มเติมเพื่อเป็นตัวประมวลผลสัญญาณอย่างเหมาะสม โดยเครื่องมือและวัสดุที่จำเป็นสำหรับการใช้งานได้แก่ Arduino, บอร์ดขยาย I/O, หน้าจอ LCD, โปรแกรม Arduino IDE และอุปกรณ์เพิ่มเติมอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งานของผู้ใช้งานข้อมูลเพิ่มเติม Sensor วัดความเข้มข้นของ ก๊าซ LPG Sensor Analog แสดงค่า 0-5 V การใช้งานควรจ่ายแรงดันรอบ 20 วินาทีก่อนทำการวัดค่า แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. MQ-5-Gas Sensor

2.3 Active Buzzer Module

โมดูลเสียงเตือน (Buzzer Module) [4] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ต่างๆ เช่น Arduino, ESP8266, ESP32 และบอร์ดอื่นๆ ที่รองรับการควบคุมสัญญาณดิจิทัล ตัวโมดูลมีให้เลือกทั้งแบบ Active Buzzer (สร้างเสียงเองได้ทันที) และ Passive Buzzer (ต้องสร้างสัญญาณเสียงจากบอร์ดควบคุม) โดยใช้งานได้ง่าย เพียงเชื่อมต่อสายไฟและควบคุมผ่านโปรแกรม โมดูลนี้เหมาะสำหรับโครงการที่ต้องการเสียงแจ้งเตือนหรือบ่งชี้สถานะ เช่น ระบบสัญญาณเตือนภัย อุปกรณ์สมาร์ทโฮม เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3. Active Buzzer Module

2.4 Micro Servo

Micro Servo [5] เป็นเซอร์โวมอเตอร์ขนาดเล็กที่เหมาะสมกับงานหุ่นยนต์ ควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณ PWM สามารถสั่งงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมตำแหน่งได้ง่าย คุณสมบัติ มี ขนาด 23.2×12.5×22 มม. น้ำหนัก 14 กรัมเพียงโลหะ 5 ชิ้น ความเร็ว 0.12 วินาที/60 องศาที่แรงดัน 4.8V และ 0.10 วินาที / 60 องศาที่แรงดัน 6V แรงบิด 1.5kg.cm ที่แรงดัน 4.8V และ 1.8 kg.cm ที่แรงดัน 6V ทำงานที่แรงดัน 4.8 ถึง 6V ควบคุมการทำงานด้วยความกว้างของสัญญาณพัลส์ช่วงบวก 1 ถึง 2 มิลลิวินาทีระยะเวลาเคลื่อนที่ 180 องศาความยาวสาย 24 ซม. แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. Micro Servo

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

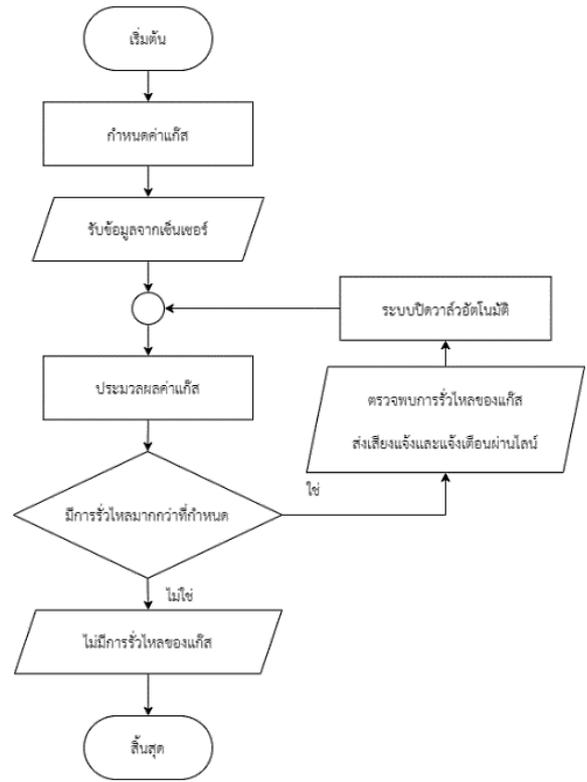
จากปัญหาที่กล่าวไว้ก่อนหน้า คณะผู้วิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สและปิดวาล์วแก๊สอัตโนมัติโดยใช้ IoT คณะผู้วิจัยได้ศึกษา ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนี้เน้นการพัฒนาและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อการตรวจจับ การแจ้งเตือน และการจัดการข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์และ IoT โดยมีการเชื่อมโยงในด้านการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานจริงในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น การพัฒนาเครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหลโดยใช้ Arduino IDE เพื่อควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหล ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถนำมาใช้จริงและเพิ่มความปลอดภัยในสถานที่ที่มีการใช้แก๊สได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] นอกจากนี้ก็งานวิจัยได้พัฒนาเครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สปิโตรเลียมเหลวรั่วไหลผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถตรวจจับแก๊สได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำโดยใช้ เซอร์โวมอเตอร์ที่มีความไวสูงและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันในเวลาเฉลี่ยไม่เกินมาตรฐาน [7] และระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยใช้ เซอร์

อินฟราเรดและกล้อง ESP32-CAM เพื่อถ่ายภาพและส่งข้อมูลแจ้งเตือนเมื่อพบความผิดปกติของอุณหภูมิร่างกายซึ่งสามารถช่วยในการวินิจฉัยโรคและติดตามผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็ว [8] งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อการจัดการในชีวิตประจำวัน ได้แก่ ระบบให้อาหารแมวอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี IoT ที่สามารถควบคุมการให้อาหารและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งช่วยลดกระบวนการทำงาน เวลา และต้นทุนในการดูแลแมวได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9] รวมถึงการพัฒนาเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยใช้เซ็นเซอร์วัดปริมาณฝุ่นและแอปพลิเคชัน Blynk สำหรับแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนซึ่งสามารถตรวจวัดและแจ้งเตือนปริมาณฝุ่นได้อย่างแม่นยำและสะดวกในการพกพา [10] ส่วนการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดและจัดการพลังงานไฟฟ้าได้แก่การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ตมิเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานรุ่นเก่าแบบอนาล็อก ซึ่งระบบนี้สามารถตรวจวัดและจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพช่วยลดต้นทุนและความเสี่ยงในการหยุดทำงานของระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า [11] งานวิจัยเหล่านี้ทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกสบายในชีวิตประจำวัน ทั้งในด้านความปลอดภัย สุขภาพ การดูแลสัตว์ และการจัดการพลังงาน

3. การออกแบบระบบ

3.1 แผนผังของการทำงานการตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส

การทำงานของระบบการตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส เริ่มต้นอุปกรณ์ เซ็นเซอร์รับข้อมูลความเข้มข้นของแก๊สและประมวลผลค่าปริมาณแก๊ส เพื่อตรวจสอบว่ามี การรั่วไหลหรือไม่ หากค่าปริมาณแก๊สเกินกว่าค่าที่กำหนดหรือค่าที่เป็นอันตราย อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนวาล์วแก๊สจะปิดอัตโนมัติเพื่อหยุดการรั่วไหลของแก๊ส จากนั้นอุปกรณ์ส่งเสียงเป็นสัญญาณแจ้งเตือนและแจ้งเตือนผ่าน Line Notify แสดงดังรูปที่ 5

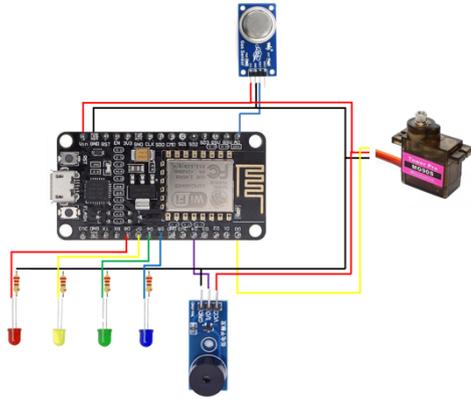


รูปที่ 5 แผนผังของการทำงานการตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส

3.2 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส

LPG และแจ้งเตือนผ่าน Line Notify

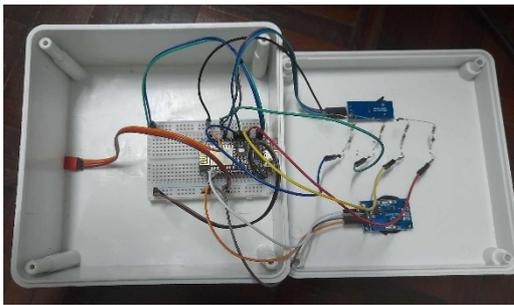
การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส LPG และแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ประกอบด้วยการแจ้งเตือนผ่านเสียงไฟ LED และการส่งข้อความผ่าน LINE Notify โดยใช้โมดูล Buzzer สำหรับแจ้งเตือนเสียง เมื่อตรวจพบการรั่วไหลของแก๊ส เซ็นเซอร์ Buzzer จะทำงานเพื่อส่งเสียงเตือน นอกจากนี้ยังมีไฟ LED สำหรับแสดงสถานะการทำงานของระบบ ซึ่งอาจใช้สีไฟที่ต่างกันเพื่อบ่งบอกระดับความสำคัญหรือประเภทของการแจ้งเตือนและระบบยังสามารถส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่าน LINE Notify ทำให้ผู้ใช้สามารถรับทราบเหตุการณ์ได้ทันที การออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สและการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify แสดงดังรูปที่ 6-8



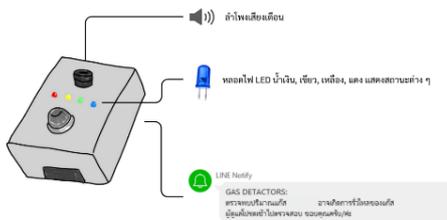
รูปที่ 6. วงจรการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหลผ่านไลน์



รูปที่ 9. การออกแบบระบบปิดวาล์วอัตโนมัติ



รูปที่ 7. การติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เข้ากับกล่องพลาสติก



รูปที่ 8. แบบจำลองการทำงานของระบบแจ้งเตือน

3.3 การออกแบบอุปกรณ์ปิดวาล์วแก๊สอัตโนมัติ

การออกแบบต้นแบบอุปกรณ์ปิดวาล์วอัตโนมัตินี้ใช้ Servo Motor รุ่น MG90s ในการควบคุมการหมุนเพื่อปิดวาล์วแก๊ส เมื่อมีค่าที่ตรวจวัดได้เกินกว่าระดับที่กำหนดไว้ ระบบจะสั่งให้ Servo Motor หมุนทันทีเพื่อปิดวาล์ว ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยและลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากแก๊สรั่ว ต้นแบบอุปกรณ์ปิดวาล์วอัตโนมัติ โดยแสดงดังรูปที่ 9

4. ผลการทดลอง

ผลการทดสอบอุปกรณ์การตรวจจับแก๊ส LPG รั่วไหลและแจ้งเตือนผ่าน Line Notify โดยการทดสอบ จะทำการปล่อยแก๊สกระป๋องออกมา ห่างจากระยะอุปกรณ์ 5 เซนติเมตร ในระยะเวลาสะสม 10 วินาที กำหนดค่า PPM 500 หากเกินกว่ากำหนดที่ตั้งค่าไว้ อุปกรณ์จะทำงานทันที ผลการทดลองอุปกรณ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ตารางการตรวจจับค่าของแก๊สที่ปล่อยที่ออกมา

ระยะเวลา (วินาที)	PPM	การแจ้งเตือน	อุปกรณ์การปิดวาล์ว
1	1.75	✗	✗
2	1.83	✗	✗
3	1.89	✗	✗
4	2.22	✗	✗
5	15.68	✗	✗
6	96.62	✗	✗
7	564.93	✓	✓
8	26682.68	✓	✓
9	65444.79	✓	✓
10	166376.78	✓	✓

5. สรุปผลการทดลอง

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊ส LPG และอุปกรณ์ปิดวาล์วแก๊สอัตโนมัติด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง เนื่องจากปัญหาการรั่วไหลของแก๊สไม่สามารถรับรู้ได้ทันทีและหากแก๊สรั่วไหลในปริมาณที่น้อยอาจจะไม่ส่งกลิ่นหรือหากได้รับกลิ่นก็เกิดการรั่วไหลในปริมาณที่เป็นอันตรายแล้ว จึงพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับการรั่วไหลของแก๊สและแจ้งเตือนผ่านไลน์ ที่เกิดจากความต้องการในการป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดจากระบบแก๊สที่รั่วไหลในสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่สามารถทำให้เกิด

ความเสถียรต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ การตรวจจับและแจ้งเตือนทันทีเมื่อมีการรั่วไหลเกิดขึ้น โดยการใช้ อุปกรณ์ IoT เป็น บอร์ด ESP8266 NodeMCU V2 เป็น ตัวประมวลผล และ เซ็นเซอร์ MQ-5 ใช้วัดหรือตรวจจับแก๊ส ซึ่งให้ระบบตรวจจับมีความแม่นยำในการตรวจจับแก๊ส ทำให้สามารถรับทราบข้อมูลและตอบสนองทันที ด้วยระบบแจ้งเตือนผ่านไลน์ LINE Notify ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่สะดวกและมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ทำให้ผู้ใช้สามารถรับข้อมูลได้ทันทีและติดตามได้อย่างรวดเร็ว และระบบปิดวาล์วถึงแก๊สแบบอัตโนมัติโดยการประยุกต์ใช้ Servo Motor ได้ในพื้นที่ จากการทดสอบการพัฒนาอุปกรณ์การตรวจจับแก๊สรั่วไหลและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหลผ่านไลน์ มีประสิทธิภาพในการทำงานตรงตามความต้องการ แต่ไม่สามารถนำไปทดสอบในสถานที่จริง เนื่องจากหากมีการรั่วไหลในสถานที่จริงอาจจะเกิดอันตรายได้ ผู้พัฒนาจึงทดสอบในพื้นที่อยู่ในการควบคุม งานวิจัยในอนาคตจะต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์การปิดวาล์วให้มีความสะดวกมากขึ้นและปรับปรุงระบบการตรวจจับให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพราะในการทดลองการตรวจจับค่า ppm ยังไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Bessis, "What is the Internet of Things (IoT) and why is it important?", IMD, 2024. [Online]. Available: <https://www.imd.org/blog/digitaltransformation/internet-of-things/>. [Accessed: Nov. 20, 2024].
- [2] A. S. Ismailov and Z. B. Jo'rayev, "Study of Arduino microcontroller board," *Science and Education*, vol. 3, no. 3, pp. 172–179, 2022.
- [3] R. Kiran, M. B. Vibha, N. G. Amith, M. Rashmi, M. T. Sahana, A. Patil, and A. Kori, "Integration of MQ-5 gas sensors with Arduino board," *Journal of Electrical Systems*, vol. 20, no. 10s, pp. 2154–2165, 2024.
- [4] W. Yimyam and T. Ganokratanaa, "Home smart alarm system for the visually impaired," in *2023 IEEE International Conference on Cybernetics and Innovations (ICCI)*, Mar. 2023, pp. 1–5.
- [5] R. Firoozian, *Servo Motors, and Industrial Control Theory*. Springer, 2014.
- [6] ชีรพงศ์ ฐูปขุนทด และ ไชยรัตน์ จากรณ์, "เครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหล," [Online]. Available: <https://www.atc.ac.th/FileATC/โครงการงาน-โครงการ>

นักศึกษาปี 2562/ 3.4 โครงการงานสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ%20ปวส.2/19. เครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สรั่วไหล.pdf [Accessed: Oct. 29, 2024]

- [7] สมควร เทียมมด, สมยศ เพ็ญศรีศิริกุล และ สุทธิ เสริมสุข, "เครื่องตรวจจับและแจ้งเตือนแก๊สปิโตรเลียมเหลวรั่วไหลผ่านแอปพลิเคชันไลน์," *T-VET Journal*, vol. 4, no. 7, pp. 1–5, 2020.
- [8] ชีรวัฒน์ ปานกลาง, รักเกียรติ คำดำรงเกียรติ, และ รัตนสุดา สุกดน้อยสร, "การพัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกาย แจ้งเตือนข้อความและภาพถ่ายผ่านแอปพลิเคชันไลน์," *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: เทพสตรี I-TECH*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 1, pp. 1–10, ม.ค.–มิ.ย. 2564.
- [9] โภทีย์ บุญนารกร, "ระบบให้อาหารม้าแบบอัตโนมัติด้วยไอโอที," [Online]. Available: <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2016/17309/1/6010121035.pdf>. [Accessed: Oct. 29, 2024]
- [10] ลัดดาวัลย์ จำปา, "การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนที่ใช้เซ็นเซอร์วัดปริมาณฝุ่นละอองและแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน," *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, ปีที่ 24, ฉบับที่ 2, พ.ค.–ส.ค. 2565.
- [11] สุรติ พัฒนา, "การพัฒนาซอฟต์แวร์ระบบตรวจวัดกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์บนพื้นฐานแนวคิดสมาร์ตมิเตอร์," *วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยนเรศวร*, [Online]. Available: <http://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/5194/3/62061689.pdf> [Accessed: Oct. 29, 2024]

CONTRIBUTORS' FORM

(to be modified as applicable and one signed copy attached with the manuscript)

Manuscript Title:

Author(s):

I/we certify that I/we have participated sufficiently in the intellectual content, conception and design of this work or the analysis and interpretation of the data (when applicable), as well as the writing of the manuscript, to take public responsibility for it and have agreed to have my/our name listed as a contributor. I/we believe the manuscript represents valid work. Neither this manuscript nor one with substantially similar content under my/our authorship has been published or is being considered for publication elsewhere, except as described in the covering letter. I/we certify that all the data collected during the study is presented in this manuscript and no data from the study has been or will be published separately. I/we attest that, if requested by the editors, I/we will provide the data/information or will cooperate fully in obtaining and providing the data/information on which the manuscript is based, for examination by the editors or their assignees. Financial interests, direct or indirect, that exist or may be perceived to exist for individual contributors in connection with the content of this paper have been disclosed in the cover letter. Sources of outside support of the project are named in the cover letter.

I/We hereby transfer(s), assign(s), or otherwise convey(s) all copyright ownership, including any and all rights incidental thereto, exclusively to the Journal, in the event that such work is published by the Journal. The Journal shall own the work, including 1) copyright; 2) the right to grant permission to republish the article in whole or in part, with or without fee; 3) the right to produce preprints or reprints and translate into languages other than English for sale or free distribution; and 4) the right to republish the work in a collection of articles in any other mechanical or electronic format.

We give the rights to the corresponding author to make necessary changes as per the request of the journal, do the rest of the correspondence on our behalf and he/she will act as the guarantor for the manuscript on our behalf.

All persons who have made substantial contributions to the work reported in the manuscript, but who are not contributors, are named in the Acknowledgment and have given me/us their written permission to be named. If I/we do not include an Acknowledgment that means I/we have not received substantial contributions from non-contributors and no contributor has been omitted.

	Name	Signature	Date signed	
1	_____	_____	_____	
2	_____	_____	_____	
3	_____	_____	_____	
4	_____	_____	_____	(up to 4 contributors for case report/images/review)
5	_____	_____	_____	
6	_____	_____	_____	(up to 6 contributors for original studies)

INFORMATION FOR AUTHORS

The Journal of Information Science and Technology (JIST) aims to be the forum through which researchers, faculties, graduate students and experts of the computer and information technology and other technological related fields share and discuss their high quality research work as well as innovation. Original research articles, practical applications and innovations in the broad area of computer and information technology are suitable for publication in JIST. Periodicity (Publication) is 2 issues per year (JAN - JUN and JULY - DECEMBER).

Accepted papers will be Double-blind peer reviewed by minimum 3 reviewers with "Accept" result.

1. Soft Computing
2. Human-Computer Interaction
3. Information Assurance and Security
4. Information Systems
5. Networking
6. Programming
7. Platform Technologies
8. System Integration and Architecture
9. Social and Professional Issues
10. Web Systems and Technologies
11. Multidisciplinary
12. e-Business and m-Business
13. Business and Information System
14. Social and Business Aspects of Convergence IT and Ubiquitous Computing
15. Internet of Things (IoT)
16. Cloud Computing
17. Fintech and blockchain

Manuscript Preparation Guide

The template for writing the journal is available for downloading (<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/>). Length of the paper should be in between 8-12 pages of A4 size. Text should be typewritten or printed with double-spaced in 11-point of A4 white paper with margins of 1.5" for top, 1.25" for left, and 1" for bottom and right sides. All pages must be numbered sequentially. Here are some guidelines.

- Abstract which length 100-200 words.
- Introduction which talks about the problem and related research.
- Materials and methods use for experimentation.
- Results of the experiment.
- Discussion and Conclusion, References

Submissions (Publication Charge: Free) (Indexed by TCI tier 2)

Please submit paper in MS Word via <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JIST/>
(Online Journal Submission)

Contact Address

The Association of Council of IT Deans (CITT)
140 Moo 1, Cheumsampan Road, Nongchok
Bangkok, Thailand 10530
E-mail: jist@citt.or.th