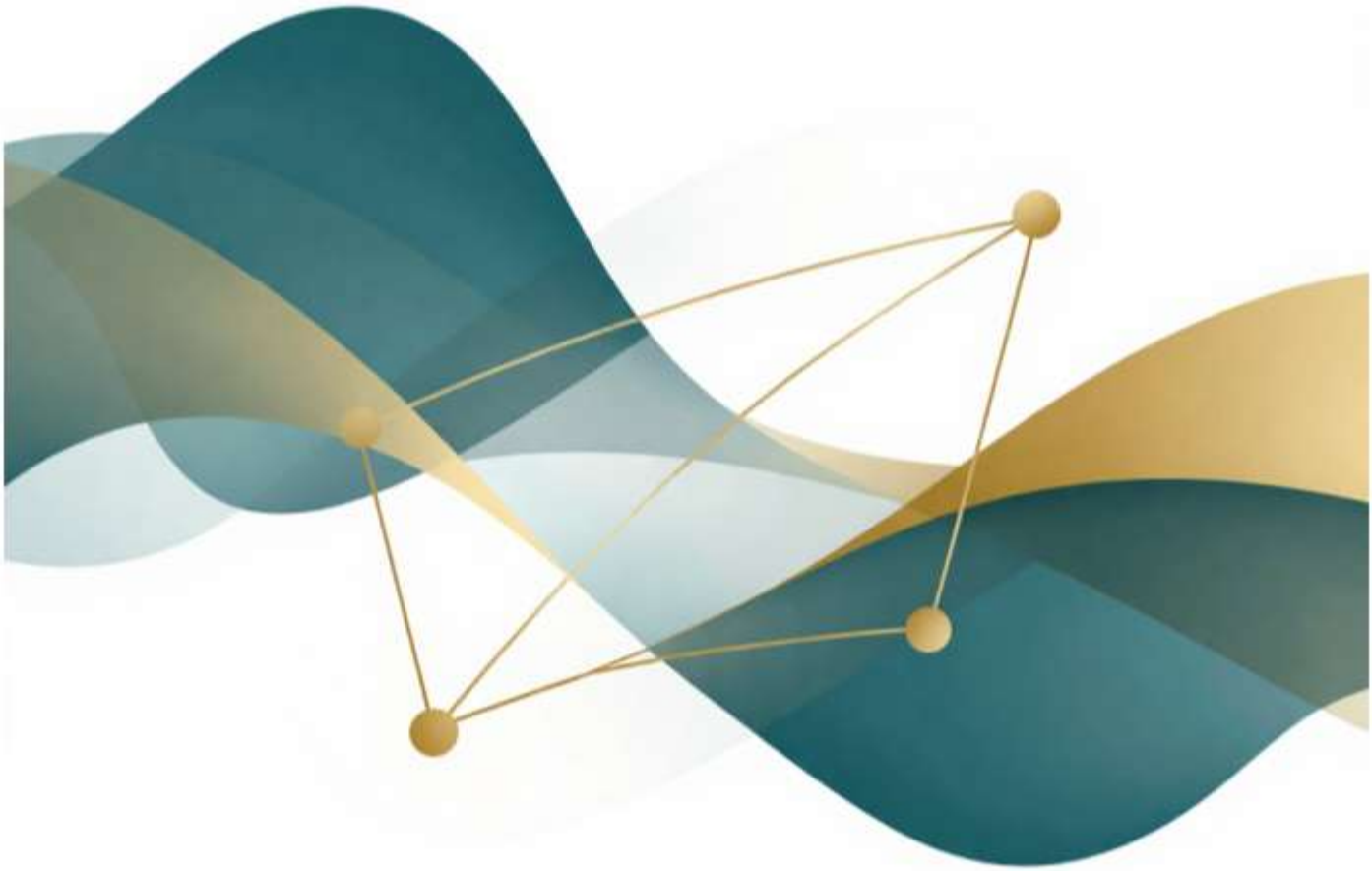
Volume 15 | Issue 1 | January - June 2026
ISSN : 3056-9729 (Online)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย

Journal of Social Sciences and Technology
Association of Private Higher Education Institutions of Thailand



สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย
Association of Private Higher Education Institutions of Thailand

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย

Journal of science and technology association of private higher education institutions of Thailand

ISSN: 3056-9729 (online)
ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569
Vol. 15 No.1 January – June 2026

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เน้นการพัฒนานวัตกรรมทางด้านการจัดการเรียนรู้ การวิจัยและพัฒนา บทความวิจัย บทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับแนวคิด ความรู้เรื่องใหม่ ๆ ที่เป็นที่สนใจของบุคคลทั่วไปด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การตรวจสอบทางวิชาการ

บทความผ่านการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก (double-blinded peer review)

เจ้าของ สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ที่ปรึกษา คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ

สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

บรรณาธิการ

ดร.มานิต บุญประเสริฐ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ดร.ทิพนาถ ชารีรักษ์

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร กระจายศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รัตนวงษ์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รองศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์ ไชยโส	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี ศุจิจันทรรัตน์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพงศ์ นิ่มกุลรัตน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดาสวรรค์ งามมงคลวงศ์	วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี ไทยพานิช	มหาวิทยาลัยสยาม

ฝ่ายจัดการและเลขานุการกองบรรณาธิการ

นางสาวนราวดี เฉพาะตน

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม –ธันวาคม

คณะกรรมการวิชาการและการประกันคุณภาพการศึกษา

สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย

ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

วาระ 1 สิงหาคม 2567 – กรกฎาคม 2569

1. ดร.สุนทรี รัตภาสกร	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	ประธาน
2. ดร.เอกธิป สุขวารี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	รองประธาน
3. รศ.ดร.ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต	กรรมการ
4. ผศ.ดร.อัจฉราพร โชติพฤกษ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	กรรมการ
5. ผศ.ดร.ปถมาพร สุกปลั่ง	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
6. รศ.ดร.จอมพงศ์ มงคลวนิช	มหาวิทยาลัยสยาม	กรรมการ
7. ดร.วัลลภา ศรีทองพิมพ์	มหาวิทยาลัยนานาชาติแสตมฟอร์ด	กรรมการ
8. ดร.สุรชัย สานติสุขรัตน์	มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่	กรรมการ
9. ดร.ธีนิดา บัณฑรวรรณ	มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	กรรมการ
10. ผศ.ดร.ปกรณ์ ลิ้มโยธิน	มหาวิทยาลัยหาดใหญ่	กรรมการ
11. ผศ.พ.ต.ท.หญิง ดร.รังสิยา วงศ์อุปปา	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล	กรรมการ
12. ดร.พรทิพย์ กวินสุพร	มหาวิทยาลัยคริสเตียน	กรรมการ
13. ผศ.ดร.อำพล นววงศ์เสถียร	มหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก	กรรมการ
14. ดร.โจนาธาน รันเต คาร์รียอน	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ	กรรมการ
15. ดร.สุรวี ศุนาลัย	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์	กรรมการ
16. ผศ.ดวงทิพย์ จันทร์อ่วม	มหาวิทยาลัยเกริก	กรรมการ
17. ผศ.ดร.วัลลภา ทรงพระคุณ	มหาวิทยาลัยพายัพ	กรรมการ
18. รศ.ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์	กรรมการ
19. ผศ.ดร.เรวดี ศักดิ์ดุลยธรรม	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์	กรรมการ
20. ผศ.ดร.ตระกูล จิตวัฒนากร	มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ	กรรมการ
21. ดร.จุรีวรรณ มณีแสง	มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น	กรรมการ
22. อาจารย์กมลวรรณ บุญสัมปทา	มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น	กรรมการ
23. ดร.ณัฐวุฒิ ว่องทรัพย์ทวี	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์	กรรมการ
24. รศ.ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์	สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น	กรรมการ
25. ดร.วริศนันท์ เดชปานประสงค์	สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ	กรรมการ
26. อาจารย์กรรณิกา ปัญญาวงค์	สถาบันการเรียนรู้เพื่อปวงชน	กรรมการ
27. รศ.ดร.อรพรรณ ลือบุญธวัชชัย	วิทยาลัยเซนต์หลุยส์	กรรมการ
28. ผศ.ยุวรัตน์ ฐิตินิรันดร์กุล	วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย	กรรมการ
29. ผศ.ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์	วิทยาลัยเทคโนโลยีพนมวันท์	กรรมการ
30. ผศ.อรรถพล อาษาเอื้อ	วิทยาลัยทองสุข	กรรมการ
31. อาจารย์อัญชลี แพรกปาน	วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคใต้	กรรมการ
32. อาจารย์รุ่งศิริ สระบัว	วิทยาลัยสันตพล	กรรมการ
33. ดร.จิรนันท์ กมลสินธุ์	มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา	กรรมการ
34. ดร.พิมล จงวรนนท์	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย	กรรมการ

35 อาจารย์ชานนท์ ชื่นจิตร์	มหาวิทยาลัยเซนต์จอห์น	กรรมการ
36. อาจารย์พรจักรี พิริยะกุล	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	กรรมการและเลขานุการ
37. อาจารย์พัชรินทร์ สินธิพงษ์	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ
38. นางสาวจุฑารัตน์ วุฒิ	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

Reviewers

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์	ศิวะเดชาเทพ	มหาวิทยาลัยสยาม
รองศาสตราจารย์ ดร.พรทิพย์	ไชยโส	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร	กระจายศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย	รัตนวงษ์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รองศาสตราจารย์ ดร.รัชนี	ศุจิจันทรรัตน์	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย	ตระกูลรังสิ	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษยา	วงษ์ชวลิตกุล	มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมฤดี	ไทยพานิช	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพงศ์	นิ่มกุลรัตน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มารุจ	ลิมปะวัฒนะ	มหาวิทยาลัยสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาสวรรค์	งามมงคลวงศ์	วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำภาพร	นามวงศ์พรหม	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัสดาว	เรโนล	มหาวิทยาลัยสยาม

บทบรรณาธิการ

Editor's Note

Dear All,

Universities have always been among society's most enduring institutions. Yet endurance alone is no longer enough. In an era shaped by rapid technological change, shifting learner expectations, global competition, climate uncertainty, demographic transitions, and questions about the public value of higher education, universities are being asked not merely to adapt, but to reinvent themselves: Reinventing Universities for a Changing World.

The idea of "reinventing universities" invites us to look beyond incremental reform. It asks what kind of university is needed for the present moment: one that is digitally capable but deeply human, globally connected yet locally responsible, research-driven while also committed to inclusion, sustainability, employability, and lifelong learning. Recent discussions of higher education transformation emphasize that digital transformation and smart campuses can reshape teaching, engagement, institutional management, and decision-making, while broader debates remind us that universities must redesign their missions around public purpose, agility, and social impact. The MHESI Reinventing University project aims to reform Thailand's higher education system by categorizing universities into 5 strategic groups, aligning their strengths with national development goals.

This issue takes that challenge seriously. The contributions gathered here reflect a shared recognition that the future university cannot be built through technology alone, nor through tradition alone. It must emerge from thoughtful leadership, ethical innovation, interdisciplinary collaboration, and a renewed commitment to learners and communities. Reinvention, in this sense, is not a rejection of the university's heritage; it is a call to reinterpret that heritage in light of new realities.

As readers engage with the articles in this journal, I invite them to consider several guiding questions: How can universities prepare graduates for uncertain futures while preserving the depth of intellectual inquiry? How can digital tools expand access without weakening human connection? How can institutions become more responsive, equitable, and sustainable while maintaining academic quality? And how can universities serve not only as places of knowledge production, but also as partners in shaping more resilient societies?

Reinventing universities is therefore both an institutional task and an intellectual invitation. It requires courage to question inherited models, imagination to design new possibilities, and responsibility to ensure that transformation remains anchored in human dignity and the public good. It is my hope that this issue contributes meaningfully to that conversation and encourages educators, researchers, policymakers, and university leaders to rethink what higher education can become.

APHEIT journal is a platform for Share and Learn. We always value your contributions.

Manit Boonprasert, Ed.D
The Association of Private Higher Education Institutions of Thailand
Under the Patronage of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirindhorn
June 2026

สารบัญ

CONTENTS

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย

ปีที่ 15 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน 2569

บทความวิชาการ

Innovation of food productions for space exploration: Concepts, Agricultural aspects, Food production systems
Sujimon Mungkalarungsi, Panalee Pitakuldilok, Nichapat Sethaporn,Thitichaya Cheewawisit, Chayanis Jaroendisayarat, Kishpat Paiboonmahapong6, Khwanchat Wongkhanmuang Metas Rujithanon, and Jirawat Salungyu…….....01-11

Candida auris: Biology, Antifungal Resistance, and Clinical Challenges
Punyapat Rittidej, Wasich Athasart, Apirut Chomchoen, Matthew Thaveevudh, Punyachat Linkangwarnmongkol and Siriporn Shupetchsomboon.....12-21

Diabetes mellitus today: A comprehensive review of epidemiology, mechanisms, diagnostics, technology, and therapeutic futures with implications for Thailand
Jidapha Wannaprabha ,Jarupat Bulpakdi, Chakrin Techaboonsermsak, Natalie Zannier Porzella, Korawan Arsa, and Sujimon Mungkalarungsi…….....22-32

บทความวิจัย

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพลายนิ้วมือแฝงในสถานที่เกิดเหตุเพื่อการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล

Physical characteristic analysis of latent fingerprints in crime scene for personal identificatio
กุลนาถ ชนาชินรัฐ, ศศิกานต์ คู่วัฒนา, วิลาสินี บุญธรรม, และมณฑล นอแสงศรี.....33-46

ประสิทธิภาพของการให้ความร้อนโดยตรงในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล และการเปรียบเทียบการประเมินคุณภาพระหว่างผู้เชี่ยวชาญทางนิติวิทยาศาสตร์กับปัญญาประดิษฐ์

Efficacy of direct heat application for latent fingerprint development on thermal paper : A comparative quality assessment between experts and artificial intelligence
นวพร เฉลิมชวลิต, ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี, ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง, และอรทัย เขียวพุ่ม.....47-63

การลดระยะเวลากระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี RPA software ของหน่วยงานภาครัฐ

Reducing processing time in product scope assessment for electrical appliances using RPA software technology at a government agency
อภิวิชญ์ ปินตากูล, ศักดิ์ชาย รักการ, อัตถกร กลั่นความดี, และวีระพัฒน์ กฤตธนาทิพย์.....64-79

Innovation of food productions for space exploration: Concepts, Agricultural aspects, Food production systems

Sujimon Mungkalarungsi[1], Panalee Pitakuldilok[2], Nichapat Sethaporn[3]
Thitichaya Cheewawisit[4], Chayanis Jaroendisayarat[5],
Kishpat Paiboonmahapong[6] , Khwanchat Wongkhanmuang[7]
Metas Rujithanon[8] , Jirawat Salungyu[9]
Independent researcher[1] , Mahidol University International Demonstration School[2],
Assumption Convent School[3] , Satree Phuket School[4,]
Chulalongkorn University Demonstration Secondary School[5],
The Newton Sixth Form School[6], Amnuay Silpa School[7], Assumption College[8]
Department of Science Service[9]
Email: khunsujimon.m@gmail.com[1]Panaleesmile@gmail.com[2]
pattbonara@gmail.com[3] tc21lily@gmail.com[4] nenechayanis@gmail.com[5]
kishpat88@gmail.com[6] mudmeekhwanchat@gmail.com[7]
Metas11072551@gmail.com[8] jirawat.sy@gmail.com[9]

Received: December 9, 2025; Revised: May 18, 2026; Accepted: June 30, 2026

ABSTRACT

Long-duration human space missions require food systems that can operate independently of Earth-based resupply. This review examines the evolution of space food systems, evaluates potential biological resources for food production, and discusses recent advances in plant cultivation and emerging food production technologies. The study is organized into key themes: the historical development of space food, biological resources, plant cultivation under microgravity, Controlled Environment Agriculture (CEA), automation, three-dimensional (3D) food printing, and closed-loop life-support systems. Historically, space food systems have progressed from the packaged meals of the Mercury and Apollo missions to the more diverse food systems used on the Space Shuttle, the International Space Station, and commercial resupply missions. Despite those advances, current systems remain dependent on regular deliveries from Earth. A combination of plants, microorganisms, algae, fungi, insects, and cultivated meat could provide complementary nutritional and life-support functions, while CEA, automated food production, 3D food printing, and Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems (ECCLES) offer promising approaches to self-sufficient food production. However, significant challenges remain, including reduced crop performance under microgravity, high energy demands, automation reliability, food safety, and system integration. Developing integrated food production systems will be essential for supporting astronaut health, enabling sustainable long-duration missions, and establishing permanent human habitats beyond Earth.

Keywords: Space food production, Controlled environment agriculture, Microgravity, 3D food printing, Closed-loop life-support systems

Introduction

Space exploration is increasingly focused on long-duration missions to the Moon and Mars, making sustainable food production a critical requirement rather than a logistical consideration. Unlike short-term

missions, future expeditions beyond low Earth orbit will require food systems capable of providing continuous nutritional support while reducing reliance on Earth-based resupply (Watkins et al., 2022). As a result, space food production has become an interdisciplinary field that combines agriculture, biotechnology, environmental engineering, and life-support technologies to support astronaut health and mission success.

Food systems for space missions must satisfy requirements that extend well beyond nutritional adequacy. In addition to preserving food safety and quality during prolonged storage, they must minimize payload mass and volume, use limited resources efficiently, and function reliably under microgravity. These constraints distinguish space agriculture from terrestrial food production and have driven the development of resource-efficient, automated, and closed-loop production systems (Nguyen et al., 2023).

The evolution of space food systems has closely followed advances in human spaceflight. Early Mercury and Apollo missions relied on pre-packaged foods, including sterile purees, thermostabilized products, and freeze-dried meals designed for short-duration flights (Klicka & Smith, 1982). During the Space Shuttle era, food technology advanced with the introduction of canned foods, rehydratable meals, and improved packaging following the removal of onboard refrigeration and freezer facilities (Perchonok & Bourland, 2002).

The International Space Station (ISS) marked an important step toward more diverse food systems. Refrigerated and frozen foods, rehydratable beverages, thermostabilized meals, and limited fresh produce improved dietary variety while maintaining nutritional quality (Kloeris, 2000). More recently, commercial cargo missions, particularly those operated by SpaceX Dragon, have expanded the supply of fresh foods to the ISS, further improving food availability in low Earth orbit (SpaceX, 2020). Nevertheless, these systems still depend on regular resupply missions from Earth and are therefore unsuitable for future deep-space exploration.

Developing autonomous food production remains one of the greatest challenges for long-duration missions. Pre-packaged foods gradually lose nutritional value during extended storage and are unlikely to meet the demands of multi-year missions (Watkins et al., 2022). At the same time, microgravity affects plant growth by altering water transport, root development, and physiological processes, making reliable crop production in space particularly challenging (Baba et al., 2022; Medina et al., 2021; Wang et al., 2022).

These challenges have accelerated the development of technologies that enable in situ food production while recycling essential resources. Controlled Environment Agriculture (CEA), automated food production, three-dimensional (3D) food printing, and Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems (ECCLES) are being developed to integrate food production with environmental control, waste recycling, and resource recovery (Archambault et al., 2023; Nguyen et al., 2023). In parallel, expanding the range of biological resources beyond conventional crops including bacteria, algae, fungi, insects, and cultivated meat could improve nutritional diversity while increasing the resilience and sustainability of future space food systems.

This review examines the evolution of food production for space exploration, from early space food systems to emerging technologies for long-duration missions. It evaluates the potential of diverse biological resources, summarizes recent advances in plant cultivation under space conditions, and reviews key technologies, including Controlled Environment Agriculture (CEA), automated food production, 3D food printing, and Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems (ECCLES). Together, these developments provide a foundation for sustainable and self-sufficient food systems that will support future human exploration beyond Earth.

Evolution of Space Food Systems

Early Missions (Mercury–Apollo)

Early human space missions relied exclusively on pre-packaged foods designed for short-duration flights. During the Mercury program, astronauts consumed sterile foods packaged in aluminum tubes, including the applesauce eaten by John Glenn during the first U.S. crewed orbital mission (Klicka & Smith, 1982). As missions progressed through the Gemini, Apollo, and Skylab programs, food systems became more sophisticated to improve nutritional quality, storage stability, and crew acceptance. Thermostabilized meals, freeze-dried foods, compressed vegetables, and improved packaging expanded menu options while reducing storage requirements. Apollo missions also introduced utensil-compatible packaging and systematic nutritional monitoring to ensure adequate energy and mineral intake (Klicka & Smith, 1982). Although these advances established the foundation of modern space nutrition, all foods continued to be prepared on Earth before launch.

Space Shuttle and International Space Station (ISS)

The transition to reusable spacecraft and long-term orbital missions created new demands for space food systems. During the Space Shuttle era, the removal of onboard refrigerators and freezers encouraged the development of canned and rehydratable foods that could maintain quality over extended storage periods (Perchonok & Bourland, 2002). The International Space Station (ISS) further diversified astronauts' diets by incorporating refrigerated and frozen foods, thermostabilized meals, powdered beverages, and limited fresh produce supplied by international partners (Kloeris, 2000). Advances in packaging, including foil laminate pouches and rehydratable containers with septum valves, improved food handling under microgravity while reducing contamination risks (Kloeris, 2000; NASA, 2020). Despite these improvements, the ISS food system remains dependent on regular cargo resupply from Earth, limiting its suitability for future deep-space missions (NASA, 2009).

Current Commercial Missions (SpaceX)

Commercial spaceflight has significantly improved food logistics in low Earth orbit. SpaceX Dragon spacecraft now serve as the primary cargo vehicles for ISS resupply, delivering ready-to-eat meals alongside fresh foods such as fruit and cheese to enhance dietary variety and nutritional quality (SpaceX, 2020). More frequent and reliable cargo missions have strengthened food security for orbital operations. However, this model still relies on continuous Earth-based resupply and is therefore impractical for future missions to the Moon and Mars. The need for greater autonomy has driven the development of in situ food production technologies, including Controlled Environment Agriculture (CEA), automated food production, three-dimensional (3D) food printing, and closed-loop life-support systems designed to support sustainable human habitation beyond Earth (Archambault et al., 2023; Nguyen et al., 2023).

Biological Resources for Space Food Production

Long-duration space missions require food sources that provide balanced nutrition while supporting life-support functions, efficient resource use, and environmental sustainability. Unlike terrestrial agriculture, food production in space must operate under strict constraints on space, water, energy, and resupply opportunities. For this reason, researchers have explored a range of biological resources—including plants, microorganisms, algae, fungi, insects, and cultivated meat—to improve the resilience and sustainability of future space food systems.

Plants

Plants remain the foundation of proposed space food systems because they provide food while simultaneously generating oxygen and removing carbon dioxide through photosynthesis. Seeds occupy relatively little payload space yet supply essential dietary fiber, vitamins, and minerals. Plant cultivation

can also be integrated into closed-loop life-support systems by using carbon dioxide generated by astronauts to sustain photosynthesis (Nguyen et al., 2023). However, microgravity alters water transport, root orientation, and plant development, making reliable crop production a major challenge for long-duration missions (Baba et al., 2022; Medina et al., 2021; Wang et al., 2022).

Bacteria

Beneficial bacteria offer an alternative approach to food production through microbial fermentation and single-cell protein technologies. Food-grade microorganisms, particularly lactic acid bacteria, are widely used to produce fermented foods with desirable nutritional and sensory properties while offering efficient and genetically stable production systems (Jarvis, 2020). Hydrogen-oxidizing bacteria have also attracted interest because they require little land and can produce biomass independently of conventional agriculture (Alvarado et al., 2021). However, large-scale application will depend on cultivation systems that ensure consistent productivity and food safety (Smith, 2019).

Algae

Algae are promising candidates for space food production because they combine several functions within a single biological system. In addition to providing protein-rich biomass, they generate oxygen, recycle carbon dioxide, and may serve as biofuel feedstocks. Their rapid growth and low demands for land and water make them particularly suitable for closed-loop life-support systems (Niederwieser et al., 2018). Microalgae can be cultivated in photobioreactors that optimize light exposure, gas exchange, and nutrient recycling (Detrell, 2024). Nevertheless, maintaining stable production under space conditions requires sophisticated environmental control, and further technological development is needed before routine deployment (Deuri et al., 2024).

Fungi

Fungi provide a complementary food source that requires less space than conventional crops and does not rely on photosynthesis. Instead, fungal biomass is produced through heterotrophic metabolism, allowing cultivation under limited light conditions (Cortesão et al., 2020). Their ability to convert organic waste into edible biomass also makes them well suited for resource recycling within closed habitats (Lucht & Broussard, 2025; Parshall, 2023). Although fungi can enhance the efficiency of integrated food systems, they are more likely to complement than replace other food sources.

Insects

Edible insects have gained attention as an efficient source of dietary protein because they require less land and water than conventional livestock while converting feed into biomass efficiently. Species such as mealworms, silkworms, and fly larvae also provide essential vitamins and minerals and can recycle inedible plant material and organic waste (Dufour, 1981; Kok & van Huis, 2021). Their inclusion in closed-loop food systems could improve both nutritional sustainability and waste management. However, cultural acceptance, food processing, and consumer perception remain important barriers, particularly for multinational astronaut crews (Jansson & Berggren, 2015).

Cultivated Meat

Cultivated meat offers a potential source of animal protein without the need for conventional livestock production. Animal cells grown in controlled bioreactors could provide high-quality protein while reducing the environmental costs associated with traditional meat production (European Space Agency [ESA], 2023). Early experiments aboard the International Space Station have demonstrated the feasibility of producing cultured meat under microgravity, highlighting its potential for future planetary habitats (Reiss et al., 2021). However, major technical challenges remain, particularly the development of energy-efficient bioreactors capable of supporting continuous large-scale production in space.

Taken together, these biological resources perform complementary rather than competing roles. Plants are central to food

production and atmospheric regeneration, while microorganisms and algae support nutrient recycling and oxygen production. Fungi and insects offer resource-efficient protein sources, and cultivated meat could further diversify astronaut diets. Integrating these biological systems within closed-loop life-support systems is likely to provide the most resilient and sustainable approach to food production for future long-duration space missions.

Plant Cultivation in Space

Plant cultivation is central to sustainable space food production because crops can provide food, generate oxygen, recycle carbon dioxide, and support closed-loop life-support systems. Unlike stored food supplies, crop production offers a renewable source of nutrients and contributes to environmental control within spacecraft and extraterrestrial habitats. However, reliable cultivation in space requires systems that can function under microgravity, limited resources, and tightly controlled environmental conditions.

Candidate Crops

Crop selection for space agriculture depends on nutritional value, growth efficiency, and adaptability to controlled environments. Wheat (Triticum aestivum) has been widely studied because of its high nutritional value and ability to complete a "seed-to-seed" life cycle under spaceflight conditions using the Svetoblock-M growth system aboard the Mir Space Station, although microgravity affects water distribution and root development (Mashinsky et al., 1994). Pea (Pisum sativum) is also promising because of its rapid growth and nutritional quality, but root orientation and growth rate remain affected by the absence of gravity even under controlled ISS conditions (Spencer et al., 2023). Tomato (Lycopersicon esculentum) has shown potential for space cultivation, particularly when supported by beneficial fungi such as Trichoderma harzianum, although careful management of water and nutrient supply is still required (Dasilva, 2024; Land et al., 2024). Overall, these findings suggest that several crops can be grown in space, but cultivation strategies must be adapted to species-specific physiological responses.

Hydroponics and Aeroponics

As soil-based agriculture is impractical in space, soilless systems have become the main approach for controlled crop production. Hydroponics delivers nutrients through aqueous solutions, allowing efficient cultivation while reducing water use and eliminating the need for soil. Crops such as lettuce, radish, and green onion have shown compatibility with hydroponic systems (U.S. Department of Agriculture, 2024). Aeroponics further improves resource efficiency by supplying nutrients as fine aerosols directly to plant roots, thereby minimizing water consumption while maintaining nutrient availability. Together, hydroponic and aeroponic systems offer controlled production environments suited to spacecraft and extraterrestrial habitats, where water conservation and environmental regulation are essential.

Aquaponics

Aquaponics combines plant cultivation with aquaculture in a symbiotic system: fish waste provides nutrients for plants, while plants help purify the water. This approach improves resource recycling and reduces the need for external nutrient inputs, making it relevant for long-duration missions under closed-loop conditions. Experimental applications suggest that aquaponic systems can support crops such as tomatoes, herbs, and cabbage in space-relevant environments (Bowman, 2023; Go Green Aquaponics, 2026). However, aquaponics is more operationally complex than hydroponics because both plant and aquatic components must remain biologically balanced.

Effects of Microgravity on Plant Growth

Microgravity remains a major biological constraint for space agriculture. Reduced gravity disrupts environmental cues that guide normal plant development, altering root orientation, water movement, and overall plant architecture. At the cellular level, microgravity can trigger physiological and

molecular responses, including changes in gene expression related to cell wall formation, oxidative stress, autophagy, and defense mechanisms (Baba et al., 2022; Medina et al., 2021). These changes may reduce plant productivity and affect long-term crop performance under extraterrestrial conditions. Even so, current evidence indicates that many crops retain adaptive capacity when grown under carefully controlled environments. Further optimization of environmental control systems and cultivation techniques will therefore be necessary to achieve reliable crop production for future lunar and Martian missions (Wang et al., 2022).

Overall, sustainable space agriculture will depend on matching suitable crop species with advanced soilless cultivation systems that can maintain stable production under microgravity. The integration of hydroponic, aeroponic, or aquaponic technologies with precise environmental control represents an important step toward self-sufficient food production for long-duration human space exploration.

Advanced Food Production Technologies

Future deep-space missions will require food production systems that can operate with minimal reliance on Earth while making efficient use of limited water, energy, and space. As a result, research has shifted beyond conventional food preservation toward integrated systems that combine controlled agriculture, automation, additive manufacturing, and closed-loop resource recycling. Together, these technologies have the potential to improve food security, reduce crew workload, and support sustainable long-duration space exploration.

Controlled Environment Agriculture (CEA)

Controlled Environment Agriculture (CEA) enables crop production by precisely regulating temperature, humidity, light intensity, and nutrient delivery (Archambault et al., 2023). By combining hydroponic cultivation with automated environmental control, CEA improves production efficiency while reducing water consumption. NASA's Controlled Ecological Life Support System (CELSS) program also laid the foundation for technologies such as LED lighting and vertical farming, which are now widely used in controlled agriculture (Wheeler, 2017). Despite these advantages, CEA remains energy intensive, particularly because of its dependence on artificial lighting and continuous environmental regulation, highlighting the need for more energy-efficient systems before deployment in long-duration missions.

Automated Food Production

Automation is expected to play a central role in future space food systems by reducing crew workload and improving operational reliability. Robotic platforms capable of planting, irrigating, harvesting, and monitoring crop health can maintain continuous food production with minimal astronaut intervention (Paape et al., 2024). In food processing, Microwave-Assisted Thermal Sterilization (MATS) enhances the safety and quality of ready-to-eat meals compared with conventional thermal processing, although prolonged storage can still affect texture and flavour (Ross et al., 2023). Highly autonomous production systems will be particularly important for Mars missions, where communication delays and limited human resources demand reliable, self-sustaining operations (Badajoz et al., 2023).

Three-Dimensional (3D) Food Printing

Three-dimensional (3D) food printing offers a flexible approach to producing customized meals from powdered or cartridge-based ingredients. Preparing food on demand reduces storage volume, extends ingredient shelf life, and allows nutritional composition to be tailored to astronauts' physiological needs (Gaskill, 2019). Additive manufacturing also supports broader space operations by enabling in situ fabrication of tools and replacement parts, reducing dependence on Earth-based resupply (Ellery, 2024). Although 3D printing shows considerable promise, routine application will require reliable ingredient storage systems and further technological refinement.

Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems (ECCLES)

Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems (ECCLES) provide a framework for integrating food production with air regeneration, water purification, and waste recycling into a single ecosystem. By linking human metabolism, plant cultivation, and biological waste treatment, ECCLES aims to minimize external resource requirements while maintaining long-term habitability (Gitelson & Lisovsky, 2008). Previous studies have demonstrated the feasibility of growing crops such as wheat, lettuce, soybeans, and potatoes within closed ecological systems, illustrating the potential of biological recycling for future extraterrestrial habitats (Macelroy, 1992). However, maintaining biological stability and balancing interconnected ecological processes remain major engineering challenges. Further improvements in system integration and operational reliability will be essential before fully autonomous life-support systems can support extended missions to the Moon and Mars.

Rather than functioning as independent technologies, these approaches are most effective when integrated into a single food production system. CEA provides the cultivation platform, automation improves operational efficiency, 3D food printing enables flexible meal preparation, and ECCLES closes resource loops through recycling and environmental management. Their integration offers a practical pathway toward self-sufficient food systems capable of supporting long-duration human exploration beyond Earth.

Comparative Analysis

No single biological resource or production technology can meet all the nutritional, environmental, and operational demands of long-duration space missions. Instead, sustainable food production will depend on integrating complementary biological resources with advanced production technologies, each contributing distinct advantages while addressing different aspects of food security and life-support.

Strengths

Among the biological resources reviewed, plants remain the cornerstone of space food systems because they provide food while simultaneously supporting oxygen production and carbon dioxide removal. Algae further improve system sustainability through rapid biomass production, oxygen generation, and nutrient recycling, whereas fungi, insects, and cultivated meat offer alternative protein sources with lower resource requirements than conventional livestock (Niederwieser et al., 2018; Cortesão et al., 2020; Kok & van Huis, 2021; Reiss et al., 2021). These biological resources are complemented by technological advances. Controlled Environment Agriculture (CEA) enables reliable crop production under tightly regulated conditions, automation improves operational efficiency and reduces crew workload, 3D food printing supports personalized nutrition with efficient ingredient storage, and Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems (ECCLES) integrate food production with water, air, and nutrient recycling to enhance long-term sustainability (Archambault et al., 2023; Ross et al., 2023; Gaskill, 2019; Nguyen et al., 2023).

Limitations

Despite substantial progress, none of these approaches can independently support autonomous food production beyond Earth. Plant cultivation remains limited by the effects of microgravity on root development, water transport, and overall plant growth (Baba et al., 2022; Medina et al., 2021; Wang et al., 2022). CEA requires considerable energy to maintain artificial lighting and environmental control, while automated systems depend on reliable robotics and continuous monitoring (Archambault et al., 2023; Badajoz et al., 2023). Similarly, algae, fungi, insects, and cultivated meat still require improvements in cultivation efficiency, processing technologies, and resource utilization before large-scale application becomes feasible (Detrell, 2024; Lucht & Broussard, 2025; ESA, 2023). These limitations indicate that

current technologies should be viewed as complementary components rather than standalone solutions.

Relative Technology Readiness

The technologies reviewed differ considerably in their level of maturity. Conventional packaged foods, thermostabilized meals, and ISS food systems are well-established technologies that have supported human spaceflight for decades (Kloeris, 2000; NASA, 2009; NASA, 2020). Plant cultivation has progressed beyond laboratory research, with several crop species successfully grown under spaceflight conditions, demonstrating increasing potential for future food production (Mashinsky et al., 1994; Spencer et al., 2023; Dasilva, 2024). In contrast, automated food production, 3D food printing, cultivated meat, and fully integrated ECCLES remain at the experimental or prototype stage. Although early results are encouraging, these technologies require further validation under the conditions expected during long-duration missions before operational deployment (Ellery, 2024; Reiss et al., 2021; Nguyen et al., 2023).

Remaining Research Gaps

Several challenges must be addressed before self-sufficient food production can support deep-space exploration. Future research should improve crop productivity under microgravity, reduce the energy requirements of controlled cultivation systems, increase the reliability of automated production, and strengthen the integration of biological production with closed-loop resource recycling. Further work is also needed to optimize the cultivation of algae, fungi, insects, and cultivated meat while ensuring food safety, nutritional quality, and long-term system stability. Ultimately, sustainable space food production will depend on integrating complementary biological resources with advanced technologies into a resilient life-support system capable of supporting continuous human habitation beyond Earth (Nguyen et al., 2023).

Future Directions

Achieving autonomous food production remains essential for sustained human exploration of the Moon, Mars, and beyond. Future research should focus on integrating biological resources with advanced production technologies into unified life-support systems rather than optimizing individual components in isolation. Controlled Environment Agriculture (CEA), automated cultivation, additive manufacturing, and Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems (ECCLES) should be developed as interoperable platforms capable of producing food, recycling resources, and maintaining environmental stability within a single system (Archambault et al., 2023; Nguyen et al., 2023).

Improving crop performance under microgravity remains a key research priority. Further studies are needed to better understand plant adaptation to reduced gravity, optimize environmental control strategies, and develop cultivation systems that maximize productivity while reducing water and energy consumption (Baba et al., 2022; Medina et al., 2021). Alternative biological resources, including algae, fungi, insects, and cultivated meat, also require further evaluation to improve production efficiency, nutritional quality, food safety, and compatibility with closed-loop ecosystems before routine application in space habitats.

Advances in automation and digital technologies are expected to further strengthen space food production. Autonomous monitoring, robotic crop management, and intelligent process control could reduce crew workload while improving system reliability during long-duration missions (Badajoz et al., 2023). Future space food systems should therefore be designed as integrated ecosystems that balance productivity, resource efficiency, and operational reliability while supporting both the physical and psychological well-being of astronauts.

Conclusion

Sustainable food production will be a cornerstone of future long-duration space exploration. The evolution of space food systems reflects a gradual shift from dependence on pre-packaged foods toward

integrated production systems capable of generating fresh food while recycling essential resources. This review highlights the complementary roles of biological resources including plants, microorganisms, algae, fungi, insects, and cultivated meat and emerging technologies such as Controlled Environment Agriculture, automated food production, three-dimensional food printing, and Engineered Closed Circular Environmental Life-Support Systems in supporting self-sufficient space habitats.

Although significant progress has been made, no single biological resource or technology can meet the nutritional, environmental, and operational demands of future lunar and Martian missions. Instead, sustainable food production will depend on integrating complementary biological systems with advanced technologies within resilient closed-loop life-support systems that maximize resource efficiency and long-term stability (Nguyen et al., 2023). Continued advances in controlled agriculture, automation, biological engineering, and resource recycling will be critical for enabling continuous human habitation beyond Earth. At the same time, many of these innovations have the potential to improve controlled-environment agriculture, circular resource management, and sustainable food production on Earth.

References

Alvarado, K. A., García Martínez, J. B., Matassa, S., Egbejimba, J., & Denkenberger, D. (2021). Food in space from hydrogen-oxidizing bacteria. *Acta Astronautica, 180*, 260–265. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2020.12.009

Archambault, P., David, I., Syriani, E., & Sahraoui, H. (2023). *Co-simulation for controlled environment agriculture.* In Proceedings of the 2023 Annual Modeling and Simulation Conference. https://istvandavid.com/files/ANNSIM-2023-WIP.pdf

Baba, A. I., Mir, M. Y., Riyazuddin, R., Cséplő, Á., Rigó, G., & Fehér, A. (2022). Plants in microgravity: Molecular and technological perspectives. *International Journal of Molecular Sciences, 23*(18), 10548. https://doi.org/10.3390/ijms231810548

Badajoz, A. M., Elieh, N., Diederich, A., Sadler, E., Glover, J., Nizampatnam, M., Israel, T., Wang, A., Zhang, L., Besnilian, A., George, A., Miller, J., Jiang, X., & Li, B. (2023). Astro cultivators: Autonomous growth system for space farming based on machine vision and multi-sensor fusion. *In Cyber-Physical Systems and Internet of Things Week 2023* (pp. 385–390) Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3576914.3588338

Bowman, A. (2023). *Growing plants in space. NASA.* https://www.nasa.gov/exploration-research-and-technology/growing-plants-in-space/

Cortesão, M., Schütze, T., Marx, R., Moeller, R., & Meyer, V. (2020). *Fungal biotechnology in space: Why and how?* In Grand challenges in fungal biotechnology (pp. 501–535). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29541-7_18

Dasilva, M. (2024). *Advanced Plant Experiment (APEX). NASA Glenn Research Center*. https://www1.grc.nasa.gov/space/iss-research/iss-fcf/fluid-science/apex/

Detrell, G. (2024). *Green Galaxy: The algae taking over space. Technical University of Munich.* https://www.ed.tum.de/en/ed/news-single-view-start/article/green-galaxy-the-algae-taking-over-space/

Deuri, B., Dev Singha, A., & Pathak, J. (2024). Role of algae in space nutrition: A biotechnological approach to life support system. *AgriGate, 4*(9), 1–10.

Dufour, P. A. (1981). *Insects: A nutritional alternative. NASA CASI*. https://typeset.io/pdf/insects-a-nutritional-alternative-2xvdwbadiq.pdf

Ellery, M. (2024). *Berkeley researchers send 3D printer into space*. UC Berkeley Engineering. https://engineering.berkeley.edu/news/2024/07/berkeley-researchers-send-3d-printer-into-space/

European Space Agency. (2023). *ESA explores cultivated meat for space food*. https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/ESA_explores_cultivated_meat_for_space_food

Gaskill, M. (2019). Solving the challenges of long duration space flight with 3D printing. *NASA*. https://www.nasa.gov/missions/station/solving-the-challenges-of-long-duration-space-flight-with-3d-printing/

Gitelson, I. I., & Lisovsky, G. M. (2008). Creation of closed ecological life support systems: Results, critical problems and potentials. *Journal of Siberian Federal University: Biology, 1*(1), 19–39.

Go Green Aquaponics. (2026). *What is aquaponics: The complete guide to sustainable gardening.* https://gogreenaquaponics.com/blogs/news/what-is-aquaponics-and-how-does-it-work

Jansson, A., & Berggren, Å. (2015). *Insects as food: Something for the future? Swedish University of Agricultural Sciences.* https://www.researchgate.net/publication/299598712

Jarvis, M. (2020). *Is bacteria the key to growing food in space? Embry-Riddle Newsroom*. https://news.erau.edu/headlines/is-bacteria-the-key-to-growing-food-in-space

Klicka, M. V., & Smith, M. C., Jr. (1982). *Food for U.S. manned space flight. Army Natick Research and Development Center*. https://scispace.com/pdf/food-for-u-s-manned-space-flight-2bmusxz2br.pdf

Kloeris, V. L. (2000). *Shuttle and ISS food systems management. NASA*. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20110000670/downloads/20110000670.pdf

Kok, R., & van Huis, A. (2021). Insect food in space. *Journal of Insects as Food and Feed, 7*(1), 1–4. https://doi.org/10.3920/JIFF2021.x001

Land, E. S., Sheppard, J., Doherty, C. J., & Perera, I. Y. (2024). Conserved plant transcriptional responses to microgravity from two consecutive spaceflight experiments. *Frontiers in Plant Science, 14*, 1308713. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1308713

Lucht, A., & Broussard, W. (2025). *How fungi can support life in space. North Spore*. https://northspore.com/blogs/the-black-trumpet/how-fungi-can-support-life-in-space

MacElroy, R. D. (1992). *Closed Ecological Life Support Systems test facility. NASA Technical Reports Server*. https://ntrs.nasa.gov/citations/19930013439

Mashinsky, A., Ivanova, I., Derendyaeva, T., Nechitailo, G., & Salisbury, F. (1994). From seed-to-seed experiment with wheat plants under space-flight conditions. *Advances in Space Research, 14*(11), 13–19. https://doi.org/10.1016/0273-1177(94)90274-7

Medina, F. J., Manzano, A., Villacampa, A., Ciska, M., & Herranz, R. (2021). Understanding reduced gravity effects on early plant development before attempting life-support farming in the Moon and Mars. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences, 8*, 729154. https://doi.org/10.3389/fspas.2021.729154

NASA. (2009). *Space food and nutrition*. https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2009/07/143163main_space.food.and.nutrition.pdf

NASA. (2020). *Freeze-dried foods nourish adventurers*. https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2020/cg_2.html

Nguyen, M., Knowling, M., Tran, N. N., Burgess, A., Fisk, I., Watt, M., Escribà-Gelonch, M., This, H., Culton, J., & Hessel, V. (2023). Space farming: Horticulture systems on spacecraft and outlook to planetary space exploration. *Plant Physiology and Biochemistry, 194*, 708–721. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.12.017

Niederwieser, T., Kociolek, P., & Klaus, D. (2018). A review of algal research in space. *Acta Astronautica, 146,* 359–367. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.03.026

Paape, N., van Eekelen, J. A. W. M., & Reniers, M. A. (2024). Automated design space exploration for poultry processing systems using discrete-event simulation. *International Journal of Food Engineering, 21*(11), 783-802. https://doi.org/10.1515/ijfe-2023-0059

Parshall, A. (2023). *Space farmers of the future may grow fungi, flies and microgreens. Scientific American*. https://www.scientificamerican.com/article/space-farmers-of-the-future-may-grow-fungi-flies-and-microgreens1/

Perchonok, M., & Bourland, C. (2002). NASA food systems: Past, present, and future. *Nutrition, 18*(10), 913–920. https://doi.org/10.1016/S0899-9007(02)00910-3

Reiss, J., Robertson, S., & Suzuki, M. (2021). Cell sources for cultivated meat. International *Journal of Molecular Sciences, 22*(14), 7513. https://doi.org/10.3390/ijms22147513

Ross, C., Sablani, S., & Tang, J. (2023). Preserving ready-to-eat meals using microwave technologies for future space programs. *Foods, 12*(6), 1322. https://doi.org/10.3390/foods12061322

Smith, J. (2019). *This biotech makes food for space missions using bacteria*. Labiotech.eu. https://www.labiotech.eu/startup-scout/solar-foods-space-mission-finland/

SpaceX. (2020). *SpaceX Dragon*. https://www.spacex.com/vehicles/dragon

Spencer, L., Sirmons, T., Romeyn, M., Curry, A., Massa, G. D., & Wheeler, R. M. (2023). *Legume crop testing for space. NASA Technical Reports Server*. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230007368/downloads/Legume%20Crop%20Testing%20for%20Space%20%20ICES-2023-124.pdf

U.S. Department of Agriculture. (2024). *Hydroponics. National Agricultural Library.* https://www.nal.usda.gov/farms-and-agricultural-production-systems/hydroponics

Wang, M., Danz, K., Ly, V., & Pierce, M. R. (2022). Microgravity enhances the phenotype of Arabidopsis zigzag-1 and reduces the Wortmannin-induced vacuole fusion in root cells. *npj Microgravity, 8*, 38. https://doi.org/10.1038/s41526-022-00226-3

Watkins, P., Baisley, C., Wright, M., & Leong, S. L. (2022). Long-term food stability for extended space missions: A review. *Life Sciences in Space Research, 32*, 79–95. https://doi.org/10.1016/j.lssr.2021.12.003

Wheeler, R. M. (2017). Agriculture for space: People and places paving the way. *Open Agriculture, 2*(1), 14–32. https://doi.org/10.1515/opag-2017-0002

Candida auris: Biology, Antifungal Resistance, and Clinical Challenges

Punyapat Rittidej[1], Wasich Athasart[2], Apirut Chomchoen[3], Matthew Thaveevudh[4], Punyachat Linkangwarnmongkol[5], Siriporn Shupetchsomboon[6]
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang International Demonstration School[1]
Samsen Wittayalai School[2], International Community School Udon Thani[3]
Saint Dominic School[4], Thidanukhro School[5], Independent researcher[6]
Email: finpunyapat66@gmail.com[1] , E-mail: SS49821@samsenwit.ac.th[2]
E-mail: foam123chom@gmail.com[3], E-mail: mthaveevudh@gmail.com[4]
E-mail: Pmp12564@gmail.com[5] , E-mail: siriporn.shu@gmail.com[6]

Received: March 10, 2026; Revised: May 28, 2026; Accepted: June 12, 2026

ABSTRACT

Candida auris has emerged as a major global health threat due to its multidrug resistance, environmental persistence, diagnostic complexity, and propensity for healthcare-associated transmission. This review aimed to synthesize current evidence on the biology, antifungal resistance mechanisms, clinical significance, and emerging epidemiology of Candida auris, with particular emphasis on its implications for healthcare systems and the evolving situation in Thailand. A narrative review of published literature and relevant evidence from global studies and available reports from Thailand was conducted. The reviewed evidence indicates that the emergence of C. auris is driven by the convergence of environmental resilience, biofilm formation, genomic adaptability, and multidrug resistance. High levels of resistance to fluconazole and increasing resistance to amphotericin B and echinocandins substantially limit therapeutic options. The pathogen's ability to persist on healthcare surfaces and colonize human skin facilitates sustained nosocomial transmission and recurrent outbreaks. Recent genomic studies have identified multiple resistance-associated mutations, although the clinical significance of several emerging variants remains uncertain. In Thailand, the detection of antifungal-resistant strains and the limited availability of advanced diagnostic capacity highlight important challenges for surveillance, laboratory identification, and infection prevention. Effective control of C. auris requires an integrated approach combining rapid diagnostics, antifungal stewardship, genomic surveillance, and rigorous infection-prevention measures.

Keywords: Candida auris, Antifungal resistance, Healthcare-associated infections, Genomic surveillance, Infection prevention and control

Introduction

Fungal infections are increasingly recognized as a major global health challenge, particularly among immunocompromised individuals and critically ill patients. The expanding use of immunosuppressive therapies, invasive medical procedures, and broad-spectrum antimicrobials has contributed to a growing burden of opportunistic fungal diseases in healthcare settings (Kullberg & Arendrup, 2015; Oladele et al., 2017). Among emerging fungal pathogens, *Candida auris* has attracted substantial international concern because of its multidrug resistance, high mortality, propensity for nosocomial transmission, and ability to cause large-scale

healthcare-associated outbreaks (Chowdhary et al., 2017; Forsberg et al., 2019).

Since its first description in Japan in 2009, *C. auris* has been reported across multiple continents and has emerged independently in several genetically distinct clades (Lockhart et al., 2016; Rhodes & Fisher, 2019). Unlike most *Candida* species, *C. auris* exhibits remarkable environmental persistence, surviving on healthcare surfaces for prolonged periods and tolerating commonly used disinfectants, thereby facilitating sustained transmission within hospitals (Welsh et al., 2017). Furthermore, widespread resistance to fluconazole, variable resistance to amphotericin B, and the emergence of echinocandin-resistant isolates have substantially limited therapeutic options and complicated clinical management (Chowdhary et al., 2017; Lamoth et al., 2018).

The clinical significance of *C. auris* extends beyond antifungal resistance. Invasive infections, particularly candidemia, are associated with considerable morbidity and mortality, especially among patients requiring intensive care, central venous catheters, or prolonged hospitalization (Forsberg et al., 2019). These biological and clinical characteristics have led the World Health Organization to classify *C. auris* as a "critical priority fungal pathogen," highlighting the urgent need for improved surveillance, diagnostic capacity, infection prevention, and therapeutic development (World Health Organization, 2022).

In Thailand, the emergence of *C. auris* has raised concerns regarding laboratory detection, antifungal resistance surveillance, and infection control preparedness. Accurate identification remains challenging because conventional phenotypic methods may misidentify *C. auris* as closely related species, including *Candida haemulonii*, emphasizing the need for advanced diagnostic approaches such as matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) and molecular techniques (Chowdhary et al., 2017). Although published epidemiological data from Thailand remain limited, the detection of *C. auris* in Thai healthcare settings underscores the importance of strengthening surveillance systems and preparedness strategies to prevent further dissemination.

This review summarizes current evidence on the biology, pathogenicity, antifungal resistance, and clinical significance of *Candida auris*, with particular emphasis on its implications for healthcare systems and the emerging situation in Thailand.

The Biology and Antifungal Resistance of Candida auris

Candida auris (Fig. 1) is an emerging multidrug-resistant yeast that exhibits several biological characteristics distinguishing it from other clinically important *Candida* species. Since its first description in 2009, the pathogen has attracted considerable attention because of its remarkable ability to persist in healthcare environments, colonize human skin, and rapidly acquire resistance to multiple antifungal agents (Du et al., 2020; Kim et al., 2024). Unlike *Candida albicans*, which primarily colonizes mucosal surfaces, *C. auris* demonstrates a pronounced affinity for skin colonization, facilitating patient-to-patient transmission and healthcare-associated outbreaks (Du et al., 2020).

Morphology and Environmental Adaptation

Microscopically, *C. auris* appears as oval to elongated budding yeast cells that occur either singly or in aggregates. Colonies are typically smooth, white to cream-colored on conventional fungal media, although colony morphology may vary under different environmental conditions (Satoh et al., 2009; Forsberg et al., 2019). Diagnostic identification remains challenging because conventional biochemical systems frequently misidentify *C. auris* as members of the *Candida haemulonii*

complex, highlighting the importance of matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) or molecular methods for accurate detection (Lockhart et al., 2017; Ahmad & Alfouzan, 2021).

A defining feature of *C. auris* is its exceptional tolerance to environmental stress. Unlike most fungal pathogens, it can grow at temperatures exceeding 40°C and survive in environments containing high salt concentrations (>10% NaCl), properties that are rarely observed among closely related species (Du et al., 2020; Kim et al., 2024). These adaptations are believed to contribute to its prolonged survival on human skin, medical devices, and hospital surfaces, thereby facilitating nosocomial transmission. The ability of *C. auris* to tolerate thermal and osmotic stress has also been cited as evidence supporting the hypothesis that environmental adaptation may have contributed to its recent emergence as a human pathogen (Ahmad & Alfouzan, 2021).

Phenotypic Plasticity and Virulence

Although *C. auris* lacks the robust yeast-to-hypha transition characteristic of *C. albicans*, it retains substantial phenotypic plasticity. Under conditions of genotoxic stress, elevated salinity, or heat stress, some isolates develop elongated or pseudohyphal-like morphologies (Kim et al., 2024). Emerging evidence suggests that these morphological transitions may contribute to environmental adaptation rather than serving as direct virulence determinants.

Biofilm formation represents one of the most clinically relevant virulence traits of *C. auris*. Unlike *C. albicans*, whose biofilms contain extensive hyphal networks, *C. auris* biofilms are predominantly composed of densely packed yeast cells embedded within an extracellular matrix (Kim et al., 2024; Ahmad & Alfouzan, 2021). Biofilm-associated cells exhibit substantially reduced susceptibility to antifungal agents and disinfectants, contributing to persistent environmental contamination and recurrent healthcare-associated outbreaks. Several adhesin-associated genes, including *IFF4*, *CSA1*, *PGA26*, *PGA52*, and *HYR3*, are upregulated during biofilm development, suggesting an important role in colonization and persistence.

Genetic Diversity and Population Structure

Whole-genome sequencing has revealed substantial genetic diversity within the species and identified five major phylogeographic clades: South Asian (Clade I), East Asian (Clade II), African (Clade III), South American (Clade IV), and a recently described Iranian clade (Clade V) (Du et al., 2020; Kim et al., 2024). The near-simultaneous emergence of genetically distinct clades across multiple continents suggests that the global spread of *C. auris* cannot be explained solely by dissemination from a single ancestral source (Du et al., 2020).

The species possesses conserved mating-type loci, although population genomic studies indicate that clonal expansion remains the dominant mode of transmission. Nevertheless, the coexistence of different mating types and increasing global circulation of strains raise the possibility of future genetic recombination events that could facilitate adaptive evolution (Du et al., 2020).

Biological Basis of Persistence and Clinical Relevance

The success of *C. auris* as a healthcare-associated pathogen appears to result from the convergence of several biological attributes, including thermotolerance, osmotolerance, biofilm formation, prolonged environmental persistence, and genomic adaptability. Unlike many fungal pathogens that are primarily opportunistic colonizers of mucosal surfaces, *C. auris* is uniquely adapted for survival in healthcare environments, where it can persist on surfaces and medical equipment for prolonged periods and spread efficiently between vulnerable patients (Ahmad & Alfouzan, 2021; Kim et al., 2024). These

biological characteristics not only explain the increasing frequency of healthcare-associated outbreaks but also complicate infection control efforts and contribute to the growing global public health threat posed by this pathogen.

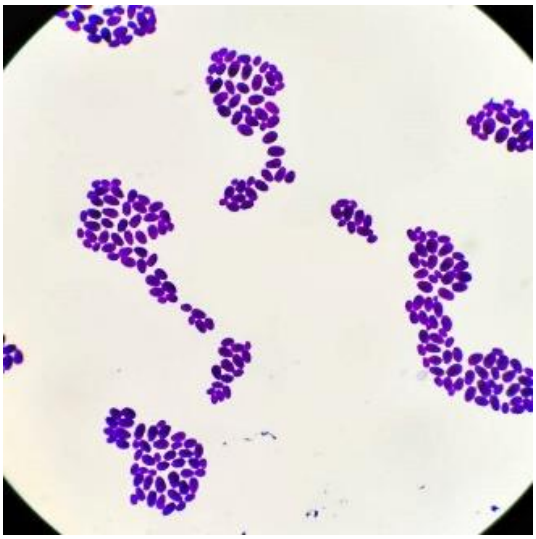


Figure 1 Candida auris (Wellington & Price, 2023)

Infections and Emergence of *Candida auris* in Thailand

The emergence of *Candida auris* in Thailand reflects the broader global expansion of this multidrug-resistant pathogen and presents significant challenges for clinical management and infection prevention. Although *C. auris* was first identified in Japan in 2009 (Satoh et al., 2009), subsequent reports have documented its rapid dissemination across Asia, Europe, Africa, and the Americas, largely driven by healthcare-associated transmission (Chowdhary et al., 2017; Lockhart et al., 2017). The detection of *C. auris* in Thai healthcare facilities confirms that Thailand has become part of this expanding epidemiological landscape and highlights the need for strengthened surveillance and diagnostic capacity.

A major concern associated with *C. auris* is its ability to persist within healthcare environments. Unlike many other *Candida* species, *C. auris* can survive for prolonged periods on hospital surfaces and medical equipment and exhibits reduced susceptibility to several commonly used disinfectants (Welsh et al., 2017; Kean et al., 2018). These characteristics facilitate nosocomial transmission through contaminated environments, healthcare workers, and shared medical devices, contributing to healthcare-associated outbreaks reported worldwide (Chowdhary et al., 2017). Consequently, the introduction of *C. auris* into Thai hospitals raises concerns regarding sustained institutional transmission, particularly in high-dependency units where vulnerable patients are concentrated.

Clinical manifestations reported in Thailand are broadly consistent with international observations. Invasive bloodstream infection remains the most frequently reported and clinically significant presentation, particularly among critically ill patients, individuals with prolonged intensive care unit stays, central venous catheterization, broad-spectrum antibiotic exposure, or underlying immunosuppressive conditions (Lockhart et al., 2017; Chakrabarti & Sood, 2021). The substantial mortality associated with *C. auris* infection is often attributable not only to fungal virulence but also to delays in

diagnosis, severe underlying comorbidities, and limited therapeutic options resulting from multidrug resistance (Rudramurthy et al., 2017; Chakrabarti & Sood, 2021).

Recent genomic investigations of Thai clinical isolates have provided important insights into local resistance mechanisms. Whole-genome sequencing of *C. auris* strains isolated in Bangkok confirmed the presence of the well-established *ERG11* Y132F mutation among fluconazole-resistant isolates and identified additional candidate mutations potentially associated with echinocandin resistance, including alterations in *CDC10*, *BLM3*, and fungal-specific Zn(II)2-Cys6 transcription factor-related genes (Opassathian et al., 2025). Notably, a novel *FKS1* I1361T substitution was identified in a caspofungin-resistant isolate, suggesting that resistance mechanisms in Thai strains may extend beyond the classical *FKS1* hotspot mutations reported previously. These findings emphasize the ongoing evolution of antifungal resistance and highlight the importance of genomic surveillance in monitoring emerging resistance determinants.

The public health implications of *C. auris* extend beyond individual patient outcomes. Healthcare-associated outbreaks require extensive infection-control measures, including patient isolation, environmental decontamination, contact tracing, and enhanced laboratory screening, all of which increase healthcare resource utilization. Furthermore, the frequent occurrence of resistance to first-line antifungal agents complicates treatment decisions and may necessitate the use of broader-spectrum or more toxic alternatives. Consequently, *C. auris* represents both a clinical and economic burden for healthcare systems, particularly in resource-constrained settings.

In response to these challenges, Thai healthcare institutions have increasingly adopted enhanced surveillance strategies, environmental monitoring programs, and advanced diagnostic technologies such as matrix-assisted laser desorption ionization–time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) and molecular identification methods. Early and accurate detection is particularly important because conventional biochemical systems frequently misidentify *C. auris*, potentially delaying implementation of appropriate infection-control interventions (Lockhart et al., 2017; Ahmad & Alfouzan, 2021).

Overall, the emergence of *C. auris* in Thailand illustrates the convergence of multidrug resistance, environmental persistence, and healthcare-associated transmission. Current evidence suggests that sustained investment in diagnostic infrastructure, genomic surveillance, antifungal stewardship, and infection-prevention programs will be essential to limit the establishment and further dissemination of this pathogen within Thai healthcare settings.

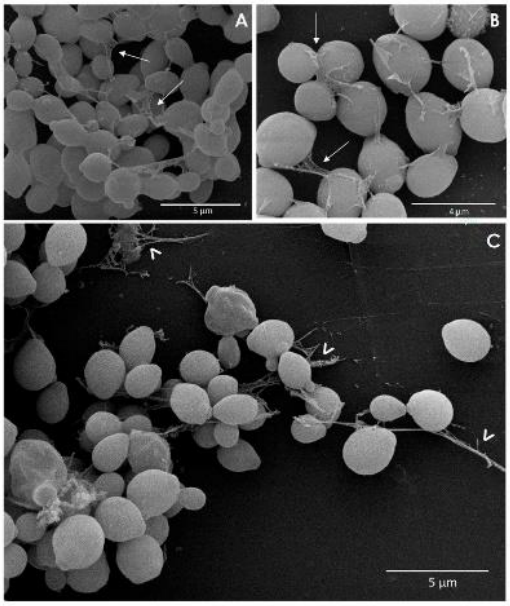


Figure 2 Relationship between *Candida auris* and closely related species within the *Candida haemulonii* complex (Ramos et al., 2020).

Discussion

This review examined the biological characteristics, antifungal resistance mechanisms, clinical significance, and emerging epidemiology of *Candida auris*, with particular consideration of its implications for Thailand. Collectively, the evidence indicates that the global success of *C. auris* is not attributable to a single virulence trait but rather to the convergence of environmental resilience, multidrug resistance, efficient healthcare-associated transmission, and remarkable genomic adaptability. These interconnected characteristics distinguish *C. auris* from most other clinically important *Candida* species and help explain its rapid emergence as a major global public health concern.

A central finding of the reviewed literature is that the epidemiological expansion of *C. auris* appears to be closely linked to its unique ecological and biological adaptations. Unlike *Candida albicans*, which is primarily associated with endogenous colonization and opportunistic infection, *C. auris* demonstrates an unusual capacity to persist on human skin, medical devices, and healthcare surfaces for prolonged periods (Kim et al., 2024; Ahmad & Alfouzan, 2021). This environmental persistence likely contributes to sustained nosocomial transmission and recurrent outbreaks. Although observational studies consistently demonstrate associations between environmental contamination and healthcare-associated spread, the relative contribution of specific transmission pathways remains incompletely understood. Consequently, current infection-control recommendations are largely derived from epidemiological investigations rather than direct experimental evidence, highlighting an important limitation of the existing literature.

The review further demonstrates that antifungal resistance represents one of the defining characteristics of *C. auris*. Across geographic regions, resistance to fluconazole is highly prevalent, while resistance to amphotericin B and echinocandins has increasingly been reported (Chowdhary et al., 2023; Kim et al., 2024). Recent genomic studies suggest that resistance is mediated

through multiple molecular pathways involving *ERG11*, *TAC1B*, *FKS1*, efflux pump regulation, and biofilm-associated mechanisms. However, much of the current evidence originates from genomic association studies and in vitro susceptibility testing. Although these approaches have identified plausible resistance determinants, relatively few studies have experimentally validated the functional consequences of newly identified mutations. Consequently, caution is warranted when inferring causality between specific genetic alterations and clinical treatment failure. The growing complexity of resistance mechanisms suggests that reliance on a limited number of antifungal classes may become increasingly unsustainable, reinforcing the need for continued therapeutic innovation.

Another important observation is the growing recognition that *C. auris* pathogenicity cannot be fully explained by conventional virulence paradigms developed for *C. albicans*. Experimental studies have demonstrated comparatively modest filamentation yet substantial capacity for biofilm formation, environmental persistence, and immune evasion. This finding suggests that adaptation to healthcare environments may be as important as classical host-invasive virulence factors in determining the clinical success of the organism. However, much of the mechanistic evidence regarding virulence originates from laboratory investigations, animal models, and transcriptomic analyses. While these studies provide valuable biological insights, their direct translation to human disease remains uncertain. Additional longitudinal clinical studies are needed to clarify how specific virulence traits influence colonization, transmission, and patient outcomes in real-world healthcare settings.

The emergence of *C. auris* in Thailand should be interpreted within this broader global context. Current evidence confirms the presence of genetically diverse and antifungal-resistant strains within Thai healthcare facilities, including isolates harboring established resistance-associated mutations such as *ERG11* Y132F and potentially novel mutations affecting echinocandin susceptibility. Nevertheless, the available Thai literature remains limited compared with evidence from South Asia, Europe, and North America. Most published reports are derived from case studies, laboratory investigations, or small-scale genomic analyses, restricting the ability to estimate national disease burden, transmission dynamics, and long-term epidemiological trends. Consequently, the true prevalence of *C. auris* in Thailand may be underestimated, particularly in healthcare facilities lacking access to advanced diagnostic methods such as MALDI-TOF MS or molecular identification platforms.

Several limitations of the current evidence base should be acknowledged. First, substantial heterogeneity exists across studies with respect to diagnostic methods, antifungal susceptibility testing protocols, and outbreak investigation strategies, complicating direct comparison between regions. Second, much of the literature is observational, limiting causal inference regarding transmission pathways, environmental reservoirs, and determinants of adverse clinical outcomes. Third, publication bias may favor reporting of large outbreaks, unusual resistance phenotypes, or severe infections, potentially overestimating the perceived threat in some settings. Finally, important gaps remain regarding environmental ecology, community reservoirs, host-pathogen interactions, and the long-term evolutionary consequences of antifungal selection pressure.

These limitations highlight several priorities for future research. Greater emphasis should be placed on prospective multicenter surveillance studies capable of

generating robust epidemiological data across diverse healthcare settings. Whole-genome sequencing integrated with clinical and environmental sampling may improve understanding of transmission networks and resistance evolution. Further investigation of environmental reservoirs, including wastewater and healthcare infrastructure, may clarify potential sources of emergence and dissemination. Equally important is the development of novel antifungal agents targeting pathways distinct from those affected by existing drug classes, as well as studies evaluating combination therapies and immunomodulatory approaches against multidrug-resistant strains. In Thailand and other Southeast Asian countries, regional genomic surveillance networks and harmonized reporting systems could facilitate earlier detection of emerging resistance patterns and strengthen outbreak preparedness.

From a clinical and public health perspective, the findings of this review suggest that effective control of *C. auris* will require an integrated strategy combining rapid diagnostics, antifungal stewardship, genomic surveillance, and rigorous infection-prevention measures. The pathogen's success appears to arise from the interaction between biological adaptability and healthcare-associated transmission opportunities rather than from any single pathogenic mechanism. Consequently, interventions targeting only antifungal treatment are unlikely to be sufficient. Sustained investment in laboratory infrastructure, surveillance systems, and translational research will be essential to mitigate the growing threat posed by *C. auris*. As evidence continues to accumulate, a more comprehensive understanding of its ecology, evolution, and resistance mechanisms may provide the foundation for more effective prevention and therapeutic strategies in Thailand and globally.

Conclusion

Candida auris has emerged as a clinically important fungal pathogen because it combines multidrug resistance, environmental persistence, diagnostic difficulty, and efficient healthcare-associated transmission. The evidence reviewed here suggests that its threat is not driven by a single biological feature, but by the interaction of genomic adaptability, antifungal selection pressure, and gaps in infection-control infrastructure. For Thailand, the detection of resistant clinical isolates underscores the need for stronger laboratory capacity, routine species-level identification, antifungal susceptibility testing, and genomic surveillance. Although current Thai data remain limited, early investment in coordinated surveillance and infection-prevention systems will be essential to prevent *C. auris* from becoming an entrenched nosocomial pathogen. Future research should prioritize multicenter epidemiological studies, functional validation of resistance mechanisms, and regionally appropriate control strategies.

References

Ahmad, S., & Alfouzan, W. (2021). *Candida auris*: An emerging multidrug-resistant pathogen. *Journal of Fungi, 7*(9), 766.

Chakrabarti, A., & Sood, P. (2021). On the emergence, spread and resistance of *Candida auris*: Host, pathogen and environmental tipping points. *Journal of Medical Microbiology, 70*(3), 001318.

Chowdhary, A., Sharma, C., & Meis, J. F. (2017). *Candida auris*: A rapidly emerging cause of hospital-acquired multidrug-resistant fungal infections globally. *PLoS Pathogens, 13*(5), e1006290.

Chowdhary, A., Tarai, B., Singh, A., & Sharma, C. (2023). *Candida auris*: Genetics, genomics, and emergence. *Annual Review of Microbiology, 77*, 583–607.

Clancy, C. J., & Nguyen, M. H. (2017). Emergence of *Candida auris*: An international call to arms. *Clinical Infectious Diseases, 64*(2), 141–143.

Du, H., Bing, J., Hu, T., Ennis, C. L., Nobile, C. J., & Huang, G. (2020). *Candida auris*: Epidemiology, biology, antifungal resistance, and virulence. *PLoS Pathogens, 16*(10), e1008921.

Forsberg, K., Woodworth, K., Walters, M., Berkow, E. L., Jackson, B., Chiller, T., & Vallabhaneni, S. (2019). *Candida auris*: The recent emergence of a multidrug-resistant fungal pathogen. *Medical Mycology, 57*(1), 1–12.

Hleba, L., Hlebová, M., & Charousová, I. (2024). In vitro evaluation of synergistic essential oils combination for enhanced antifungal activity against *Candida* spp. *Life, 14*(6), 693.

Kim, H. Y., Nguyen, T. A., Kidd, S., Chambers, J., Alastruey-Izquierdo, A., Shin, J. H., Dao, A., Forastiero, A., Wahyuningsih, R., Chakrabarti, A., Beyer, P., Gigante, V., Beardsley, J., Sati, H., Morrissey, C. O., & Alffenaar, J. W. (2024). *Candida auris*: A systematic review to inform the World Health Organization fungal priority pathogens list. *Medical Mycology, 62*(6), myae042.

Kean, R., Ramage, G., & Brown, G. D. (2018). *Candida auris*: A decade of understanding of an enigmatic pathogenic yeast. *Journal of Fungi, 4*(4), 146.

Kullberg, B. J., & Arendrup, M. C. (2015). Invasive candidiasis. *New England Journal of Medicine, 373*(15), 1445–1456.

Lamoth, F., Lockhart, S. R., Berkow, E. L., & Calandra, T. (2018). Changes in the epidemiological landscape of invasive candidiasis. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 73*(Suppl. 1), i4–i13.

Lockhart, S. R., Etienne, K. A., Vallabhaneni, S., Farooqi, J., Chowdhary, A., Govender, N. P., Colombo, A. L., Calvo, B., Cuomo, C. A., Desjardins, C. A., Berkow, E. L., Castanheira, M., Magobo, R. E., Jabeen, K., Asghar, R. J., Meis, J. F., Jackson, B., Chiller, T., & Litvintseva, A. P. (2017). Simultaneous emergence of multidrug-resistant *Candida auris* on three continents confirmed by whole-genome sequencing and epidemiological analyses. *Clinical Infectious Diseases, 64*(2), 134–140.

Oladele, R. O., Bongomin, F., Gago, S., & Denning, D. W. (2017). HIV-associated cryptococcal disease in resource-limited settings: A case for prevention is better than cure. *Journal of Fungi, 3*(4), 67.

Opassathian, K., Boonmee, N., Swangkaew, S., Jenjaroenpun, P., Wongsurawat, T., Kruasuwan, W., Ngamskulrungroj, P., & Mitrpant, C. (2025). A study of genomic complexity underlying multidrug resistance in *Candida auris* strains in Thailand. *Scientific Reports, 15*(1), Article 41478.

Pristov, K. E., & Ghannoum, M. A. (2019). Resistance of *Candida* to azoles and echinocandins worldwide. *Clinical Microbiology and Infection, 25*(7), 792–798.

Ramos, L. S., Mello, T. P., Branquinha, M. H., & Santos, A. L. S. (2020). Biofilm formed by Candida haemulonii species complex: Structural analysis and extracellular matrix composition. *Journal of Fungi, 6*(2), 46.

Revie, N. M., Iyer, K. R., Robbins, N., & Cowen, L. E. (2018). Antifungal drug resistance: Evolution, mechanisms and impact. *Current Opinion in Microbiology, 45*, 70–76.

Rhodes, J., & Fisher, M. C. (2019). Global epidemiology of emerging *Candida auris*. *Current Opinion in Microbiology, 52*, 84–89.

Rudramurthy, S. M., Chakrabarti, A., Paul, R. A., Sood, P., Kaur, H., Capoor, M. R., Kindo, A. J., Marak, R. S. K., Arora, A., Sardana, R., Das, S., Chhina, D., Patel, A., Xess, I., Tarai, B., Singh, P., & Ghosh, A. (2017). *Candida auris* candidemia in Indian ICUs: Analysis of risk factors. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *72*(6), 1794–1801.

Satoh, K., Makimura, K., Hasumi, Y., Nishiyama, Y., Uchida, K., & Yamaguchi, H. (2009). *Candida auris* sp. nov., a novel ascomycetous yeast isolated from the external ear canal of an inpatient in a Japanese hospital. *Microbiology and Immunology*, *53*(1), 41–44.

Wellington, M., & Price, L. (2023, April 19). The window is closing to stop deadly drug-resistant fungi like *Candida auris*. STAT. https://www.statnews.com/2023/04/19/candida-auris-drug-resistant-fungi/

Welsh, R. M., Bentz, M. L., Shams, A., Houston, H., Lyons, A., Rose, L. J., & Litvintseva, A. P. (2017). Survival, persistence, and isolation of the emerging multidrug-resistant pathogenic yeast *Candida auris* on a plastic healthcare surface. *Journal of Clinical Microbiology, 55*(10), 2996–3005.

World Health Organization. (2022). *WHO fungal priority pathogens list to guide research, development and public health action. World Health Organization*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240060241

Diabetes mellitus today: A comprehensive review of epidemiology, mechanisms, diagnostics, technology, and therapeutic futures with implications for Thailand

Jidapha Wannaprabha[1] ,Jarupat Bulpakdi[2],Chakrin Techaboonsermsak[3], Natalie Zannier Porzella[4] ,Korawan Arsa[5], Sujimon Mungkalarungsi[6]
Horwang School[1] Ruamrudee International School[2]
Ramkhamhaeng Advent International School[3]International School Bangkok[4]
Patumwan Demonstration School[5] , Independent Researcher[6]
Email: v.r.vermoth.981@gmail.com[1] , Email: Mightybul2008@gmail.com[2]
Email: Ottopersonal817@gmail.com[3] , Email: 22871@students.isb.ac.th[4]
Email: hellokorawan@gmail.com[5] , E-mail: khunsujimon.m@gmail.com[6]

Received: December 9, 2025; Revised: April 27, 2026; Accepted: May 15, 2026

ABSTRACT

Diabetes mellitus (DM) is a major and growing global health challenge driven by urbanization, population aging, and lifestyle changes. This study was conducted as a narrative review, synthesizing evidence from major databases and clinical guidelines. A narrative review was conducted using major scientific databases and clinical guidelines. Findings indicate a shift toward predictive, personalized, and technology enabled care, including advances in pharmacological therapies and digital health tools. In Thailand. challenges such as underdiagnosis and unequal access to care highlight the need for strengthened health system integration and improved early detection strategies.

Keywords: Diabetes mellitus, Epidemiology, Pathophysiology, Digital health, Therapeutic advances, Thailand

Introduction

Diabetes mellitus (DM) has emerged as one of the most significant global health challenges of the 21st century, with a rapidly increasing prevalence driven by urbanization, population aging, sedentary lifestyles, and widening socioeconomic disparities (Zimmet et al., 2016). Beyond its growing incidence, diabetes imposes a substantial burden of premature mortality, disability, and escalating healthcare costs through its strong association with cardiovascular disease, chronic kidney disease, neuropathy, retinopathy, and cognitive decline (Fowler, 2008; Beckman et al., 2002; Biessels & Despa, 2018). In Thailand, this burden is further intensified by a rising prevalence of young-onset type 2 diabetes, demographic aging, and limitations within fragmented chronic-care delivery systems that must simultaneously accommodate expanding therapeutic innovations and constrained healthcare resources (Aekplakorn et al., 2019; Dejkhamron et al., 2022; Atun et al., 2017). These challenges highlight the need for context-specific strategies that align scientific advances with the realities of national health systems.

Recent scientific developments have redefined diabetes as a complex, multisystem disorder rather than a condition solely characterized by hyperglycemia. Type 2 diabetes is now understood to involve the interplay of

insulin resistance, progressive β-cell dysfunction, chronic inflammation, and oxidative stress (DeFronzo et al., 2015; Donath & Shoelson, 2011; Kahn et al., 2014), whereas type 1 diabetes is increasingly conceptualized as a staged autoimmune disease that allows opportunities for early detection and intervention (Insel et al., 2015). Therapeutic paradigms have evolved beyond glycemic control alone, with sodium–glucose cotransporter 2 (SGLT2) inhibitors and glucagon-like peptide-1 (GLP-1) receptor agonists demonstrating significant cardiovascular and renal protective effects (Zinman et al., 2015; Marso et al., 2016). In parallel, technological innovations such as continuous glucose monitoring (CGM) have shifted clinical emphasis toward dynamic metrics such as time in range, enhancing real-time disease management (Battelino et al., 2019). Emerging therapies including immunomodulatory approaches such as anti-CD3 agents (Herold et al., 2019), regenerative stem-cell strategies (Pagliuca et al., 2014), and microbiome-targeted interventions (Gurung et al., 2020; Lynch & Pedersen, 2016) further reflect a transition toward predictive, personalized, and technology-enabled care.

Despite these advances, substantial gaps remain in translating innovation into effective, equitable, and scalable healthcare delivery. A significant proportion of individuals with diabetes remain undiagnosed or inadequately treated, particularly in resource-constrained settings (Zimmet et al., 2016). In Thailand, disparities in access to advanced pharmacological therapies, diagnostic tools, and digital health technologies persist, while healthcare systems remain insufficiently integrated to support the continuous, multidisciplinary nature of diabetes management (Atun et al., 2017). Moreover, psychosocial determinants including diabetes-related distress and depression are increasingly recognized as critical factors influencing clinical outcomes but remain under-integrated into routine care (Biessels & Despa, 2018). The rapid expansion of digital health and artificial intelligence (AI) also introduces new challenges related to digital equity, workforce readiness, reimbursement mechanisms, and data governance, necessitating coordinated system-level responses.

Although a growing body of literature has explored pharmacological therapies, digital health, and immunological interventions independently, there remains a lack of comprehensive synthesis that integrates these domains within a unified framework relevant to the Thai healthcare context. Critical uncertainties persist regarding how precision medicine can be translated into sustainable and scalable care models, the real-world effectiveness of technologies such as CGM, telemedicine, and AI-assisted management, and the feasibility of implementing disease-modifying therapies in settings with variable resources and infrastructure. Furthermore, current literature provides limited analysis of how Thailand can strategically adapt these innovations to address its specific epidemiological trends, healthcare system constraints, and policy priorities.

Therefore, this review aims to provide a multidimensional synthesis of contemporary evidence on diabetes mellitus, integrating advances in pathophysiology, diagnosis, therapeutics, and digital health with an emphasis on their implications for Thailand. By bridging biological mechanisms, clinical evidence, technological innovation, and health system considerations, this review seeks to identify strategic priorities for improving diabetes prevention, management, and long-term outcomes within the Thai context.

Purpose of the Study

This review aims to synthesize contemporary evidence on diabetes mellitus across epidemiology, pathophysiology, diagnosis, complications, and emerging therapeutic and technological innovations.

In addition, the review seeks to integrate these domains within a unified framework to examine their implications for diabetes management in Thailand, with the goal of identifying context-specific priorities for improving prevention, care delivery, and long-term outcomes.

Methods

This study was conducted as a narrative review to synthesize contemporary evidence on diabetes mellitus across epidemiology, pathophysiology, diagnosis, complications, therapeutics, digital health, and health system implications, with particular emphasis on relevance to Thailand.

A structured literature search was performed using PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. Additional sources included clinical guidelines and reports from major organizations, such as the World Health Organization (WHO), International Diabetes Federation (IDF), and the American Diabetes Association (ADA). Search terms included combinations of "diabetes mellitus," "type 1 diabetes," "type 2 diabetes," "diagnosis," "complications," "SGLT2 inhibitors," "GLP-1 receptor agonists," "continuous glucose monitoring," "telemedicine," "artificial intelligence," "immunotherapy," "microbiome," and "stem cell."

Studies published between approximately 2001 and 2024 were considered. Priority was given to peer-reviewed articles, landmark clinical trials, high-impact mechanistic studies, and international consensus guidelines that are relevant to current clinical practice and emerging innovations. Older studies were included selectively when they provided foundational or widely cited evidence.

Articles were screened based on predefined inclusion and exclusion criteria. Inclusion criteria comprised: (1) studies addressing key domains of diabetes care, including mechanisms, diagnosis, complications, therapeutics, digital health, or health system implementation; (2) studies with clear clinical, scientific, or policy relevance; and (3) publications in peer-reviewed journals or recognized institutional reports. Exclusion criteria included: (1) studies lacking relevance to the review objectives; (2) non–peer-reviewed sources, editorials, and opinion-based articles without supporting evidence; and (3) duplicate publications.

The selection process involved initial screening of titles and abstracts, followed by full-text review of potentially relevant articles. Studies were then prioritized based on scientific rigor, relevance to contemporary practice, and contribution to thematic synthesis. From the screened literature, 34 publications were selected as key references because they represented high-quality evidence, landmark findings, or authoritative guidance across the major domains of interest.

Data from selected studies were analyzed using a thematic synthesis approach. Evidence was organized into predefined domains—epidemiology, mechanisms, diagnosis, complications, technology, therapeutic advances, and health system considerations—to provide a structured and integrative overview. As a narrative review, this study did not include quantitative meta-analysis or formal risk-of-bias assessment.

1. Epidemiology and Burden of Disease

1.1 Global Trends

Diabetes mellitus (DM) is a major and growing global health challenge, driven by urbanization, aging populations, and lifestyle changes (Zimmet et al., 2016). Its rising prevalence is accompanied by increased morbidity and mortality due to complications such as cardiovascular disease, chronic kidney disease, neuropathy, and retinopathy, contributing to substantial healthcare and economic burden worldwide (Fowler, 2008; Beckman et al., 2002).

1.2 Epidemiological Situation in Thailand

In Thailand, diabetes prevalence has steadily increased, largely due to rising obesity, sedentary lifestyles, and demographic aging (Aekplakorn et al., 2019). Despite improved detection and treatment, many individuals remain undiagnosed or poorly controlled, leading to preventable complications. Health system challenges, including disparities in access to care and fragmented chronic disease management, further exacerbate the burden (Atun et al., 2017).

1.3 Risk Factors

Diabetes is influenced by modifiable risk factors such as obesity, unhealthy diet, and physical inactivity, alongside non-modifiable factors including age and genetic susceptibility. In Thailand, rapid urbanization and dietary transitions have intensified exposure to these risks, emphasizing the need for effective prevention strategies (Aekplakorn et al., 2019).

1.4 Young-Onset Diabetes

Young-onset type 2 diabetes is increasingly observed in Thailand, particularly among adolescents and young adults. This group often presents with poorer glycemic control and earlier complications compared to later-onset cases (Dejkhamron et al., 2022). The trend reflects early exposure to metabolic risk factors and poses significant long-term challenges for the healthcare system.

2. Pathophysiological Mechanisms

Diabetes mellitus comprises a heterogeneous group of disorders characterized by dysregulated glucose homeostasis resulting from defects in insulin secretion, insulin action, or both. Type 1 diabetes (T1D) is an autoimmune condition marked by T cell–mediated destruction of pancreatic β-cells, leading to absolute insulin deficiency. It is increasingly recognized as a staged disease, allowing for earlier identification and potential intervention during presymptomatic phases (Insel et al., 2015). In contrast, type 2 diabetes (T2D) is primarily driven by insulin resistance in peripheral tissues combined with progressive β-cell dysfunction, resulting in relative insulin deficiency (DeFronzo et al., 2015; Kahn et al., 2014).

Chronic low-grade inflammation plays a central role in the pathogenesis of T2D, linking obesity and metabolic dysfunction to impaired insulin signaling. Adipose tissue inflammation, mediated by pro-inflammatory cytokines and immune cell infiltration, contributes to systemic insulin resistance and β-cell stress (Donath & Shoelson, 2011). These processes are further exacerbated by oxidative stress and mitochondrial dysfunction, reinforcing a cycle of metabolic dysregulation.

The gut microbiome has emerged as an important modulator of metabolic health, influencing glucose metabolism, immune responses, and energy balance. Dysbiosis in individuals with T2D is associated with reduced production of beneficial metabolites such as short-chain fatty acids and increased systemic inflammation (Gurung et al., 2020; Lynch & Pedersen, 2016). Although the microbiome represents a promising therapeutic target, its clinical application remains under active investigation.

3. Diagnosis and Classification

The diagnosis of diabetes mellitus is based on standardized biochemical criteria associated with long-term complications, including glycated hemoglobin (HbA1c) ≥ 6.5%, fasting plasma glucose ≥ 126 mg/dL, 2-hour plasma glucose ≥ 200 mg/dL during an oral glucose tolerance test, or random plasma glucose ≥ 200 mg/dL in the presence of classic symptoms (ADAPPC, 2025). These criteria remain fundamental to clinical practice; however, contemporary approaches increasingly emphasize early detection and risk stratification.

Beyond conventional classification, precision-based approaches have gained importance in differentiating diabetes subtypes and guiding individualized management. Type 1 diabetes is

characterized by autoimmune β-cell destruction and can be identified through autoantibody testing and staging frameworks (Insel et al., 2015), while type 2 diabetes involves heterogeneous metabolic dysfunction influenced by genetic and environmental factors (DeFronzo et al., 2015; Kahn et al., 2014). Recognition of atypical forms, such as latent autoimmune diabetes in adults (LADA) and monogenic diabetes, further underscores the need for accurate classification to optimize therapeutic decisions.

In Thailand, challenges in diabetes screening and diagnosis persist, particularly in relation to underdiagnosis and delayed detection. A substantial proportion of individuals with diabetes remain unaware of their condition, and many do not achieve adequate treatment or glycemic control. Additionally, approximately one-third of diabetes cases remain undiagnosed, reflecting gaps in early detection and screening coverage (International Diabetes Federation, 2024). Limitations in screening program effectiveness, variability in healthcare access, and reliance on opportunistic testing further contribute to incomplete detection and delayed management (Mahikul et al., 2019). Strengthening population-based screening, improving risk stratification, and integrating diagnostic pathways within primary care systems are therefore critical for reducing complications and improving long-term outcomes.

4. Complications and Clinical Consequences

Diabetes mellitus is associated with a wide spectrum of complications that significantly contribute to morbidity, mortality, and healthcare burden. These complications arise primarily from chronic hyperglycemia and metabolic dysregulation, affecting both microvascular and macrovascular systems, as well as other organ functions (Fowler, 2008; Brownlee, 2005).

4.1 Microvascular Complications

Microvascular complications include diabetic retinopathy, nephropathy, and neuropathy, which are major causes of blindness, end-stage renal disease, and disability, respectively. Persistent hyperglycemia induces oxidative stress, endothelial dysfunction, and microvascular damage, leading to progressive tissue injury (Brownlee, 2005). Tight glycemic and blood pressure control have been shown to reduce the risk and progression of these complications (UKPDS, 1998).

4.2 Macrovascular Complications

Macrovascular complications, particularly atherosclerotic cardiovascular disease (ASCVD), represent the leading cause of death among individuals with diabetes (Kannel & McGee, 1979). Pathophysiological mechanisms include endothelial dysfunction, chronic inflammation, and dyslipidemia, which accelerate atherogenesis (Beckman et al., 2002). Recent therapeutic advances, such as SGLT2 inhibitors and GLP-1 receptor agonists, have demonstrated significant cardiovascular benefits, shifting treatment priorities toward comprehensive cardiometabolic risk reduction (Zinman et al., 2015; Marso et al., 2016).

4.3 Cognitive and Other Complications

Beyond vascular complications, diabetes is increasingly recognized as a risk factor for cognitive decline and dementia. Mechanisms include insulin resistance in the brain, microvascular injury, and chronic inflammation (Biessels & Despa, 2018; Craft, 2005). Additional complications, such as diabetic foot disease, arise from the interplay of neuropathy, vascular insufficiency, and infection, leading to increased risk of hospitalization and amputation (Schaper et al., 2020). These diverse clinical consequences highlight the need for integrated, multidisciplinary management strategies to reduce long-term disease burden.

5. Technology and Digital Health

Advances in digital health technologies are transforming diabetes management by enabling continuous

monitoring, personalized care, and improved access to healthcare services. These innovations address key challenges in chronic disease management, including fragmented care and limited specialist availability (Salisbury et al., 2015; Atun et al., 2017).

5.1 Continuous Glucose Monitoring (CGM)

Continuous glucose monitoring (CGM) has shifted diabetes management from static measures such as glycated hemoglobin (HbA1c) to dynamic metrics, including time in range (TIR), which better reflect daily glycemic variability (Battelino et al., 2019). CGM enhances detection of hypoglycemia, supports treatment optimization, and improves patient engagement, particularly in individuals with type 1 diabetes and insulin-treated type 2 diabetes.

5.2 Telemedicine

Telemedicine enables remote delivery of diabetes care through virtual consultations, digital communication, and remote patient monitoring. Evidence suggests that telehealth interventions can achieve glycemic outcomes comparable to in-person care while improving accessibility and continuity, especially in resource-limited settings (Salisbury et al., 2015). These approaches are particularly valuable for expanding care coverage and supporting long-term disease management.

5.3 Artificial Intelligence (AI)

Artificial intelligence (AI) is increasingly applied in diabetes care for predictive analytics, clinical decision support, and complication screening. AI-based systems have demonstrated high accuracy in detecting diabetic retinopathy and in predicting risks such as hypoglycemia and disease progression (Gulshan et al., 2016; Beckman et al., 2002). Despite its potential, implementation challenges remain, including data governance, algorithm bias, and integration into clinical workflows, particularly in settings with limited digital infrastructure (Atun et al., 2017).

6. Therapeutic Advances and Future Directions

Recent advances in diabetes therapeutics have shifted management beyond glycemic control toward comprehensive cardiometabolic risk reduction and disease modification. These developments reflect a broader transition toward precision and mechanism-based treatment strategies.

6.1 SGLT2 Inhibitors and GLP-1 Receptor Agonists

Sodium glucose cotransporter 2 (SGLT2) inhibitors and glucagon-like peptide-1 (GLP-1) receptor agonists have transformed the management of type 2 diabetes by providing benefits that extend beyond glucose lowering. Large-scale clinical trials have demonstrated significant reductions in cardiovascular events, heart failure hospitalization, and progression of chronic kidney disease (Zinman et al., 2015; Marso et al., 2016; Perkovic et al., 2019). These agents are now central to treatment guidelines, reflecting a paradigm shift toward integrated cardiometabolic risk management.

6.2 Immunotherapy

In type 1 diabetes, immunotherapy represents a promising approach aimed at modifying disease progression rather than solely replacing insulin. Monoclonal antibodies such as anti-CD3 agents have shown the ability to delay the onset of clinical disease in high-risk individuals by preserving residual β-cell function (Herold et al., 2019). Other immunomodulatory therapies, including agents targeting T-cell activation, have demonstrated varying degrees of efficacy in early-stage disease (Orban et al., 2014; Rigby et al., 2015). Despite these advances, challenges related to long-term efficacy, safety, and cost remain.

6.3 Stem Cell and Regenerative Therapies

Regenerative medicine offers the potential to restore endogenous insulin production through stem cell–derived β-cell

replacement. Advances in stem cell differentiation have enabled the generation of functional insulin-producing cells, demonstrating proof-of-concept for biological restoration of glucose regulation (Pagliuca et al., 2014). Early clinical studies have shown promising results; however, barriers such as immune rejection, need for immunosuppression, high cost, and scalability continue to limit widespread application.

7. Health System Challenges and Strategic Priorities in Thailand

Despite advances in diabetes care, significant health system challenges continue to limit effective implementation in Thailand. These challenges span access to care, workforce capacity, policy alignment, and real-world integration of emerging innovations.

7.1 Access to Care

Access to essential diabetes services remains uneven, particularly between urban and rural areas. While basic treatments such as metformin and insulin are widely available, access to newer therapies including SGLT2 inhibitors, GLP-1 receptor agonists, and advanced technologies such as continuous glucose monitoring (CGM) is often constrained by cost and reimbursement limitations (Atun et al., 2017). In addition, gaps in screening and early diagnosis contribute to delayed treatment initiation and increased risk of complications (International Diabetes Federation, 2024; Mahikul et al., 2019).

7.2 Workforce Capacity

Effective diabetes management requires a multidisciplinary approach involving physicians, nurses, pharmacists, and allied health professionals. However, workforce shortages, particularly in primary care and rural settings, limit the capacity for continuous, patient-centered care. Structured diabetes education and self-management support programs are not consistently integrated into routine practice, reducing opportunities for prevention and long-term disease control (Atun et al., 2017).

7.3 Policy Gaps

Although Thailand has made progress in addressing noncommunicable diseases, gaps remain in aligning national policies with rapidly evolving clinical and technological advances. Coverage of newer pharmacological agents and digital health tools is limited, and integration of precision medicine and early detection strategies into national frameworks is still evolving. These gaps hinder the translation of scientific advances into population-level benefits.

7.4 Implementation Challenges

The implementation of innovative diabetes care models—such as telemedicine, AI-assisted screening, and integrated chronic care pathways—faces practical barriers, including digital infrastructure limitations, variable health literacy, and challenges in data governance. Fragmented care delivery systems further complicate coordination across levels of care, reducing efficiency and continuity (Atun et al., 2017). Addressing these challenges requires strengthening primary care systems, expanding digital health capacity, and improving coordination across healthcare sectors.

7.5 Strategic Priorities

To improve diabetes outcomes in Thailand, strategic priorities should focus on strengthening early detection through population-based screening, expanding equitable access to essential and advanced therapies, and integrating multidisciplinary care within primary healthcare systems. Investment in workforce development, digital infrastructure, and policy frameworks that support innovation adoption will be critical. Aligning these efforts with prevention-focused public health strategies can enhance long-term sustainability and reduce the growing burden of diabetes.

Conclusion

This review shows that diabetes mellitus has evolved from a glucose-centered disorder to a complex, multisystem condition requiring

biologically precise, technology-enabled, and health-system–integrated strategies. Across epidemiology, mechanisms, diagnostics, complications, and emerging therapies, the evidence supports a shift toward predictive, personalized, and prevention-oriented care. Scientific advances—including SGLT2 inhibitors and GLP-1 receptor agonists for cardiorenal protection, immunotherapy for type 1 diabetes, continuous glucose monitoring, AI-assisted screening, and stem-cell–based approaches—demonstrate real clinical progress.

However, translation into population-level impact remains uneven. Complications continue to drive morbidity and mortality, particularly in middle-income settings such as Thailand, where rising young-onset type 2 diabetes, population aging, fragmented chronic-care systems, and unequal access to advanced technologies limit implementation. Aligning innovation with health-system strengthening—through early detection, integrated cardiometabolic risk management, digital infrastructure, workforce development, and equitable access—is essential to improve long-term outcomes in both global and Thai contexts.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere appreciation to Sujimon Mungkarungsi, an independent researcher, for their valuable guidance and constructive comments throughout this study.

References

Aekplakorn, W., Tantayotai, V., Numsangkul, S., Tatsato, N., Luckanajantachote, P., & Himathongkam, T. (2019). Evaluation of a community-based diabetes prevention program in Thailand: A cluster randomized controlled trial. *Journal of Primary Care & Community Health, 10*, 2150132719847374. https://doi.org/10.1177/2150132719847374

American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2025). Introduction and methodology: Standards of care in diabetes—2025. *Diabetes Care, 48*(Supplement_1), S1–S5. https://doi.org/10.2337/dc25-SINT

Atun, R., Davies, J. I., Gale, E. A. M., Bärnighausen, T., Beran, D., Kengne, A. P., Levitt, N. S., Mangugu, F. W., Nyirenda, M. J., Ogle, G. D., Ramaiya, K., Sewankambo, N. K., Sobngwi, E., Tesfaye, S., & Wild, S. H. (2017). Diabetes in sub-Saharan Africa: From clinical care to health policy. *The Lancet Diabetes & Endocrinology, 5*(8), 622–667. https://doi.org/10.1016/S2213-8587(17)30181-X

Battelino, T., Danne, T., Bergenstal, R. M., Amiel, S. A., Beck, R., Biester, T., Bosi, E., Buckingham, B. A., Cefalu, W. T., Close, K. L., Cobelli, C., Dassau, E., DeVries, J. H., Donaghue, K. C., Garg, S., Heinemann, L., Hirsch, I. B., Hovorka, R., Kovatchev, B., ... Phillip, M. (2019). Clinical targets for continuous glucose monitoring data interpretation: Recommendations from the international consensus on time in range. *Diabetes Care, 42*(8), 1593–1603. https://doi.org/10.2337/dci19-0028

Beckman, J. A., Creager, M. A., & Libby, P. (2002). Diabetes and atherosclerosis: Epidemiology, pathophysiology, and management. *JAMA, 287*(19), 2570–2581. https://doi.org/10.1001/jama.287.19.2570

Biessels, G. J., & Despa, F. (2018). Cognitive decline and dementia in diabetes mellitus: Mechanisms and clinical implications. *Nature Reviews Endocrinology, 14*(10), 591–604. https://doi.org/10.1038/s41574-018-0048-7

Brownlee, M. (2005). The pathobiology of diabetic complications: A unifying mechanism. *Diabetes, 54*(6), 1615–1625. https://doi.org/10.2337/diabetes.54.6.1615

Craft, S. (2005). Insulin resistance syndrome and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging, 26*(Suppl. 1), 65–69. https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.08.021

DeFronzo, R. A., Ferrannini, E., Groop, L., Henry, R. R., Herman, W. H., Holst, J. J., Hu, F. B., Kahn, C. R., Raz, I., Shulman, G. I., Simonson, D. C., Testa, M. A., & Weiss, R. (2015). Type 2 diabetes mellitus. *Nature Reviews Disease Primers, 1*, 15019. https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.19

Dejkhamron, P., Santiprabhob, J., Likitmaskul, S., Deerochanawong, C., Rawdaree, P., Tharavanij, T., Khlairit, P., Sahakitrungruang, T., Wacharasindhu, S., Thongtang, N., Vichitwong, P., Pongchaiyakul, C., Krittiyawong, S., Sriphrapradang, C., Boonchaya-Anant, P., Srichomkwun, P., Anutrakulchai, O., Unachak, K., Nitiyanant, W., & Reutrakul, S. (2022). Young-onset diabetes patients in Thailand: Data from Thai Type 1 Diabetes and Diabetes diagnosed Age before 30 years Registry, Care and Network (T1DDAR CN). *Journal of Diabetes Investigation, 13*(5), 796–809. https://doi.org/10.1111/jdi.13732

Donath, M. Y., & Shoelson, S. E. (2011). Type 2 diabetes as an inflammatory disease. *Nature Reviews Immunology, 11*(2), 98–107. https://doi.org/10.1038/nri2925

Fowler, M. J. (2008). Microvascular and macrovascular complications of diabetes. *Clinical Diabetes, 26*(2), 77–82. https://doi.org/10.2337/diaclin.26.2.77

Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., Venugopalan, S., Widner, K., Madams, T., Cuadros, J., Kim, R., Raman, R., Nelson, P. C., Mega, J. L., & Webster, D. R. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA, 316*(22), 2402–2410. https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216

Gurung, M., Li, Z., You, H., Rodrigues, R., Jump, D. B., Morgun, A., & Shulzhenko, N. (2020). Role of gut microbiota in type 2 diabetes pathophysiology. *EBioMedicine, 51*, 102590. https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2019.11.051

Herold, K. C., Bundy, B. N., Long, S. A., Bluestone, J. A., DiMeglio, L. A., Dufort, M. J., Gitelman, S. E., Gottlieb, P. A., Krischer, J. P., Linsley, P. S., Marks, J. B., Moore, W., Moran, A., Rodriguez, H., Russell, W. E., Schatz, D., Skyler, J. S., Tsalikian, E., Wherrett, D. K., ... Type 1 Diabetes TrialNet Study Group. (2019). An anti-CD3 antibody, teplizumab, in relatives at risk for type 1 diabetes. *The New England Journal of Medicine, 381*(7), 603–613. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1902226

Insel, R. A., Dunne, J. L., Atkinson, M. A., Chiang, J. L., Dabelea, D., Gottlieb, P. A., Greenbaum, C. J., Herold, K. C., Krischer, J. P., Lernmark, Å., Ratner, R. E., Rewers, M. J., Schatz, D. A., Skyler, J. S., Sosenko, J. M., & Ziegler, A.-G. (2015). Staging presymptomatic type 1 diabetes: A scientific statement of JDRF, the Endocrine Society, and the American Diabetes Association. *Diabetes Care, 38*(10), 1964–1974. https://doi.org/10.2337/dc15-1419

International Diabetes Federation. (2026). *IDF Diabetes Atlas: Global diabetes data & statistics*. https://diabetesatlas.org/

Kahn, S. E., Cooper, M. E., & Del Prato, S. (2014). Pathophysiology and treatment of type 2 diabetes. *The Lancet, 383*(9922), 1068–1083. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62154-6

Kannel, W. B., & McGee, D. L. (1979). Diabetes and cardiovascular risk. *JAMA, 241*(19), 2035–2038. https://doi.org/10.1001/jama.1979.03290450033020

Kirkman, M. S., Briscoe, V. J., Clark, N., Florez, H., Haas, L. B., Halter, J. B., Huang, E. S., Korytkowski, M. T., Munshi, M. N., Odegard, P. S., Pratley, R. E., & Swift, C. S. (2012). Diabetes in older adults: A consensus report. *Journal of the American Geriatrics Society, 60*(12), 2342–2356. https://doi.org/10.1111/jgs.12035

Lynch, S. V., & Pedersen, O. (2016). The human intestinal microbiome in health and disease. *The New England Journal of Medicine, 375*(24), 2369–2379. https://doi.org/10.1056/NEJMra1600266

Mahikul, W., White, L. J., Poovorawan, K., Soonthornworasiri, N., Sukontamarn, P., Chanthavilay, P., Pan-ngum, W., & Medley, G. F. (2019). A population dynamic model to assess the diabetes screening and reporting programs and project the burden of undiagnosed diabetes in Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 16*(12), 2207. https://doi.org/10.3390/ijerph16122207

Marso, S. P., Daniels, G. H., Brown-Frandsen, K., Kristensen, P., Mann, J. F. E., Nauck, M. A., Nissen, S. E., Pocock, S., Poulter, N. R., Ravn, L. S., Steinberg, W. M., Stockner, M., Zinman, B., Bergenstal, R. M., Buse, J. B., LEADER Steering Committee, & LEADER Trial Investigators. (2016). Liraglutide and cardiovascular outcomes in type 2 diabetes. *The New England Journal of Medicine, 375*(4), 311–322. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1603827

Orban, T., Bundy, B., Becker, D. J., DiMeglio, L. A., Gitelman, S. E., Goland, R., Gottlieb, P. A., Greenbaum, C. J., Marks, J. B., Monzavi, R., Moran, A., Raskin, P., Rodriguez, H., Russell, W. E., Schatz, D., Wherrett, D., Wilson, D. M., Krischer, J. P., Skyler, J. S., & Type 1 Diabetes TrialNet Abatacept Study Group. (2011). Co-stimulation modulation with abatacept in patients with recent-onset type 1 diabetes: A randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *The Lancet, 378*(9789), 412–419. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60886-6

Pagliuca, F. W., Millman, J. R., Gürtler, M., Segel, M., Van Dervort, A., Ryu, J. H., Peterson, Q. P., Greiner, D., & Melton, D. A. (2014). Generation of functional human pancreatic β cells in vitro. *Cell, 159*(2), 428–439. https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.09.040

Perkovic, V., Jardine, M. J., Neal, B., Bompoint, S., Heerspink, H. J. L., Charytan, D. M., Edwards, R., Agarwal, R., Bakris, G., Bull, S., Cannon, C. P., Capuano, G., Chu, P.-L., de Zeeuw, D., Greene, T., Levin, A., Pollock, C., Wheeler, D. C., Yavin, Y., ... Mahaffey, K. W. (2019). Canagliflozin and renal outcomes in type 2 diabetes and nephropathy. *The New England Journal of Medicine, 380*(24), 2295–2306. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1811744

Rigby, M. R., Harris, K. M., Pinckney, A., DiMeglio, L. A., Rendell, M. S., Felner, E. I., Dostou, J. M., Gitelman, S. E., Griffin, K. J., Tsalikian, E., Gottlieb, P. A., Greenbaum, C. J., Sherry, N. A., Moore, W. V., Monzavi, R., Willi, S. M., Raskin, P., Keyes-Elstein, L., Long, S. A., ... Ehlers, M. R. (2015). Alefacept provides sustained clinical and immunological effects in new-onset type 1 diabetes patients. *The Journal of Clinical Investigation, 125*(8), 3285–3296. https://doi.org/10.1172/JCI81722

Salisbury, C., Thomas, C., O'Cathain, A., Rogers, A., Pope, C., Yardley, L., Hollinghurst, S., Fahey, T., Lewis, G., Large, S., Edwards, L., Rowsell, A., Segar, J., Brownsell, S., & Montgomery, A. A. (2015). Telehealth in chronic disease: Mixed-methods study to develop the TECH conceptual model for intervention design and evaluation. *BMJ Open, 5*(2), e006448. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2014-006448

Schaper, N. C., van Netten, J. J., Apelqvist, J., Bus, S. A., Hinchliffe, R. J., Lipsky, B. A., & IWGDF Editorial Board. (2020). Practical guidelines on the prevention and management of diabetic foot disease (IWGDF 2019 update). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews, 36*(S1), e3266. https://doi.org/10.1002/dmrr.3266

UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Group. (1998). Intensive blood-glucose control and risk of complications in type 2 diabetes. *The Lancet, 352*(9131), 837–853. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(98)07019-6

Zimmet, P., Alberti, K. G. M. M., Magliano, D. J., & Bennett, P. H. (2016). Diabetes mellitus statistics and epidemiology. *Nature Reviews Endocrinology, 12*(10), 616–622. https://doi.org/10.1038/nrendo.2016.105

Zinman, B., Wanner, C., Lachin, J. M., Fitchett, D., Bluhmki, E., Hantel, S., Mattheus, M., Devins, T., Johansen, O. E., Woerle, H. J., Broedl, U. C., & Inzucchi, S. E. (2015). Empagliflozin, cardiovascular outcomes, and mortality in type 2 diabetes. *The New England Journal of Medicine, 373*(22), 2117–2128. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1504720

การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพลายนิ้วมือแฝงในสถานที่เกิดเหตุเพื่อการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล

Physical characteristic analysis of latent fingerprints in crime scene for personal identification

กุลนาถ ชนาชินรัฐ[1], ศศิกานต์ คู่วัฒนา[2], วิลาสินี บุญธรรม[3], มณฑล นอแสงศรี[4]

ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7[1], มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ[2,3,4]

Gulanat Chanachinrat[1], Sasigarn Kuvattana[2], Wilasinee Boontham[3], Monthon Norsaengsri[4]

Police Forensic Science Center 7[1], Maejo University Phrae Campus[2,3,4]

E-mail: gulanatk@gmail.com[1], sasigarn@gmaejo.mju.ac.th[2], wboontham@hotmail.com[3], Norsaengsri@gmail.com[4]

Received: February 20, 2026; Revised: February 26, 2026; Accepted: March 9, 2026

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บจากสถานที่เกิดเหตุ เปรียบเทียบความแตกต่างขนาดลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือกับนิ้วอื่น วิเคราะห์ความแตกต่างรอยลายนิ้วหัวแม่มือเพศชายและหญิงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % วิเคราะห์รอยลายนิ้วมือแฝงที่ได้รับการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลแล้วจำนวน 597 รอย จาก 155 คดี (ปี 2020–2023) โดยเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 ใช้สถิติเชิงพรรณนาและการทดสอบ t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาพบว่ารอยลายนิ้วมือแฝงพบได้ทั้งบนพื้นผิววัตถุพยานประเภทมีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน มีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษอย่างน้อย 10 จุดขึ้นไปจึงพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลได้ มีโอกาสพบลายนิ้วมือได้ทั้ง 9 รูปแบบในสถานที่เกิดเหตุ ลายนิ้วมือแฝงส่วนใหญ่มีลักษณะติดไม่เต็มนิ้ว โดยพบลายนิ้วมือรูปแบบก้นหอยมากกว่าแบบมัดหวายและแบบโค้ง รอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือมีความกว้างและความยาวต่างจากรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ความกว้างของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายและเพศหญิงต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความยาวของรอยประทับนิ้วหัวแม่มือของทั้งสองเพศไม่ต่างกัน ผลการศึกษาสนับสนุนการประเมินลักษณะรอยลายนิ้วมือแฝงเพื่อช่วยจำแนกชนิดนิ้วมือและเพิ่มประสิทธิภาพในการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล

คำสำคัญ: ลายนิ้วมือแฝง สถานที่เกิดเหตุ การพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล

ABSTRACT

This study aimed to analyze the physical characteristics of latent fingerprints collected from crime scenes, and to statistically compare the width and length of latent fingerprints impressed by the thumb and other fingers. Analyze and compare the latent fingerprints deposited by the thumbs of male and female individuals at a 95% confidence level. A total of 597 verified latent fingerprint impressions from 155 forensic cases (2020–2023) by the officers in area of Police Forensic Science Center 7, were analyzed using descriptive statistics and independent t-tests at a 0.05 significance level. The study found that latent fingerprints were deposited on porous, semi-porous, and non-porous surfaces of evidence on crime scenes, and at least 10 minutiae points were required to identify a person. Latent fingerprints of every finger could be found and possibility of nine fingerprint patterns could be seen on crime scene. Latent fingerprints were mostly incomplete, with whorl pattern being more common than loop and arch pattern. The depositing latent fingerprints by thumbs differed significantly in width and length from other fingers. The width of thumbprints of male and female were statistically different significantly, while the length did not differ. Findings support improved accuracy in forensic identification and fingerprint classification.

KEYWORDS: Latent fingerprint, Crime scene, Personal identification

บทนำ

ในปัจจุบันมีการนำนิติวิทยาศาสตร์มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการยุติธรรมเพิ่มมากขึ้น โดยเป็นการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกสาขาบูรณาการเข้ากับหลักกฎหมายในการเก็บรวบรวมพยานหลักฐานและตรวจพิสูจน์ค้นหาความจริง ใช้ความเชื่อมโยงจากข้อมูลชีวภาพของบุคคลที่ติดอยู่บนวัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุ พยานหลักฐานที่นิยมใช้ระบุตัวบุคคลมากที่สุดได้แก่ลายนิ้วมือ ซึ่งเมื่อสัมผัสวัตถุทำให้เกิดการถ่ายโอนรูปแบบลายเส้นลายนิ้วมือลงไปประทับอยู่บนพื้นผิวโดยมีเหงื่อรวมถึงไขมันจากมือที่ไปสัมผัสสิ่งปนเปื้อนอื่นเป็นองค์ประกอบเกิดเป็นลายนิ้วมือแฝง ลายนิ้วมือทั้ง 10 นิ้วของแต่ละคนเป็นเอกลักษณ์เฉพาะบุคคลไม่ซ้ำกัน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดชีวิต (Ashbaugh, 1999) แม้จะมีวิธีการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลได้จากชีววัตถุพยานหลายชนิด แต่นิยมใช้ลายนิ้วมือเป็นอันดับแรกเนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และไม่ต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการตรวจพิสูจน์ สามารถทราบผลการตรวจพิสูจน์ได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ (Chanachinrat, 2022) ในประเทศไทยลายนิ้วมือที่มีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (minutiae) ตั้งแต่ 10 จุดขึ้นไปจัดว่ามีคุณภาพเพียงพอแก่การใช้ยืนยันตัวบุคคล (Singthong, 2015) หน่วยงานกองทะเบียนประวัติอาชญากร (ทว.) ในสังกัดสำนักงานตำรวจแห่งชาติ ได้นำระบบตรวจสอบเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ หรือเอฟิส (Automated Fingerprints Identification System, AFIS) มาใช้ในการตรวจสอบประวัติบุคคล (POLICE TV สถานีโทรทัศน์สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2022) ดังนั้น การนำลายนิ้วมือแฝงเข้าสืบค้นในระบบนี้จึงมีโอกาสที่จะระบุตัวบุคคลและชนิดนิ้วมือที่ถูกทิ้งไว้ในสถานที่เกิดเหตุ นอกจากนี้หน่วยงานกรมการปกครองยังจัดเก็บลายพิมพ์นิ้วหัวแม่มือขวาและซ้ายของบุคคลเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนผ่านระบบคอมพิวเตอร์ในการทำบัตรประจำตัวประชาชนแบบอเนกประสงค์ (สำนักบริหารการทะเบียน

กรมการปกครอง, 2562) ดังนั้น หากนำรอยลายนิ้วมือแฝงจากสถานที่เกิดเหตุที่สามารถระบุได้ว่าเกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือเข้าสืบค้นในฐานข้อมูลกรมการปกครองจะสามารถระบุตัวบุคคลได้อีกช่องทางหนึ่ง

งานวิจัยที่ทำการศึกษาจากรอยลายนิ้วมือแฝงที่พบจากสถานที่เกิดเหตุจริงมีการเผยแพร่น้อยมาก ทำให้ขาดการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์และทำนายแนวโน้มที่จะพบชนิดของนิ้วมือที่ประทับลงบนพื้นผิววัตถุพยาน มีกรณีศึกษารอยลายนิ้วมือแฝงบนอาวุธปืนในคดีที่เกิดขึ้นจริงเมื่อทำการตรวจเปรียบเทียบลายนิ้วมือที่เก็บได้จากอาวุธปืนซึ่งเป็นวัตถุพยานในคดีกับลายพิมพ์นิ้วมือของผู้ต้องสงสัยสามารถระบุตัวบุคคลผู้ก่อเหตุได้ (Amata et al., 2015) นอกจากนี้ยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพลายนิ้วมือแฝงจากสถานที่เกิดเหตุโดยเป็นรอยที่เกิดจากการประทับนิ้วมือ 10 นิ้ว

งานวิจัยเกี่ยวกับลายนิ้วมือเป็นไปในแนวทางการจำลองลายนิ้วมือเสมือนจริงขึ้นมาเพื่อศึกษาองค์ประกอบในลายนิ้วมือรวมถึงพัฒนาวิธีการตรวจเก็บลายนิ้วมือให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีรายงานการพัฒนาสังเคราะห์ผงฝุ่นที่สามารถเรืองแสงยูวีจากสารประกอบคาร์บอนแล้วนำไปใช้ตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงที่อาสาสมัครประทับบนกระจกซึ่งเป็นวัสดุพื้นผิวไม่มีรูพรุน พบว่าสามารถตรวจเก็บลายนิ้วมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Girdthep et al., 2026) มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาสารประกอบสำคัญของกัญชาที่ปนเปื้อนอยู่ในลายนิ้วมือที่อาสาสมัครจำลองขึ้นบนกระจกโดยใช้ผงฝุ่นดำตรวจเก็บลายนิ้วมือและวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ToF-SIMS พบว่าสามารถตรวจจับกัญชาบนลายนิ้วมือได้อย่างรวดเร็วอีกทั้งไม่ทำลายตัวอย่าง (Maćkiewiczet al., 2026) มีการศึกษาเปรียบเทียบรูเหงื่อในลายนิ้วมือแฝงที่ตั้งใจประทับลงบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ พบว่าลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวมีรูพรุน กึ่งรูพรุน และไม่มีรูพรุน มีค่าเฉลี่ยจำนวนรูเหงื่อไม่ต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถนำลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัตถุพยานที่ต่างกันไปใช้ในการยืนยันตัวบุคคลได้ (Seesuk & Seelanan, 2023) นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยทำการวัดสัดส่วนร่างกายและวัดพิสัยของการเคลื่อนไหวของผู้สูงอายุ มีการวัดขนาดความกว้าง และความยาวกระดูกปลายนิ้วข้อที่ 1 ของนิ้วมือ 10 นิ้ว ผลการวิจัยกล่าวว่าทั้งเพศชายและเพศหญิงมีความกว้างและความยาวของนิ้วหัวแม่มือแตกต่างจากนิ้วอื่น และเมื่อทำการเปรียบเทียบความกว้างและความยาวนิ้วมือขวาทั้ง 5 นิ้ว และนิ้วมือซ้ายทั้ง 5 นิ้วของเพศชายกับเพศหญิง พบว่าแตกต่างกันทุกนิ้ว (Sinlapasat, 2015)

ลายนิ้วมือแฝงที่ถูกทิ้งไว้ในสถานที่เกิดเหตุเป็นรอยประทับที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ จึงมีโอกาสพบรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากนิ้วใดนิ้วหนึ่งไม่เฉพาะเจาะจง หรือมีโอกาสที่จะพบลายนิ้วมือแฝงทั้ง 10 นิ้ว ในสถานที่เกิดเหตุ (Chanachinrat & Girdthep, 2023) อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะจำแนกว่ารอยประทับดังกล่าวเกิดจากการประทับนิ้วมือของเพศใด รวมถึงเกิดจากนิ้วหัวแม่มือหรือนิ้วอื่น

จากการทบทวนวรรณกรรมรวบรวมข้อมูลยังไม่พบงานวิจัยใดที่ศึกษาความแตกต่างลักษณะทางกายภาพของลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากนิ้วมือ 10 นิ้ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่พบในสถานที่เกิดเหตุจริง โดยพิจารณาชนิดของนิ้วมือที่ตรวจตรงในระบบเอฟิส ความสมบูรณ์ของรอย

ลายนิ้วมือ รูปแบบของลายนิ้วมือแฝง ขนาดความกว้าง ความยาว จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษ ตลอดจนลักษณะพื้นผิววัตถุพยานที่ลายนิ้วมือแฝงประทับอยู่ แล้วใช้วิธีการทางสถิติทำการเปรียบเทียบขนาดรอยประทับที่เกิดจากนิ้วหัวแม่มือกับรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่นว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ รวมถึงทำการเปรียบเทียบความแตกต่างขนาดรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายและเพศหญิง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ในการพิจารณารอยลายนิ้วมือแฝงที่พบว่าเกิดจากการประทับนิ้วมือนิ้วใด อันจะนำไปสู่การพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลให้เกิดความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและก่อให้เกิดประโยชน์แก่กระบวนการยุติธรรม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่พบในสถานที่เกิดเหตุจริงดังนี้

1.1 ความสมบูรณ์ของรอยลายนิ้วมือแฝง

1.2 ขนาดความกว้าง ความยาว

1.3 ลักษณะพื้นผิววัตถุพยานที่ลายนิ้วมือแฝงประทับอยู่

1.4 จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝง

1.5 รูปแบบของลายนิ้วมือแฝง ร่วมกับการพิจารณาชนิดของนิ้วมือที่ตรวจตรงเอฟิส

2. เพื่อเปรียบเทียบขนาดความกว้างความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากรอยประทับนิ้วหัวแม่มือกับรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่น

3. เพื่อเปรียบเทียบขนาดความกว้างความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากรอยประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายและเพศหญิง

สมมุติฐาน

1. รอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือมีความกว้างและความยาวแตกต่างจากการประทับนิ้วมืออื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. รอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายและเพศหญิงมีความกว้างและความยาวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

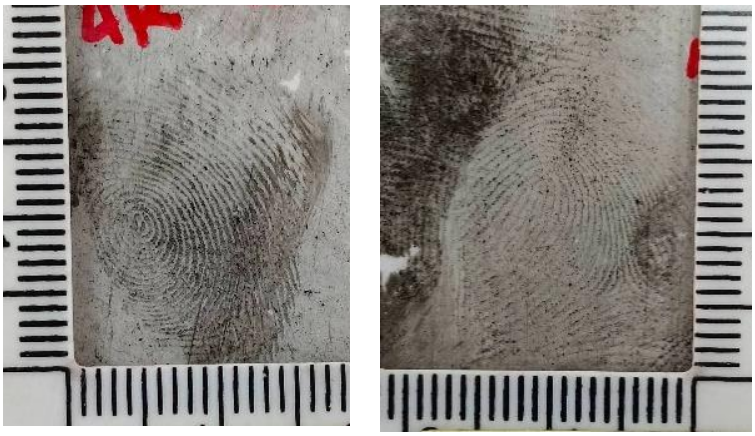
ประโยชน์ที่ได้รับ

เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์สามารถใช้ในการพิจารณารอยลายนิ้วมือแฝงที่พบว่าเกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือหรือไม่ หรือเกิดจากนิ้วมือนิ้วใด อันจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่กระบวนการสืบสวน และการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลให้เกิดความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บจากสถานที่เกิดเหตุโดยใช้แผ่นเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บจากสถานที่เกิดเหตุในเขตพื้นที่รับผิดชอบของศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 โดยนำส่งตรวจพิสูจน์กับระบบตรวจสอบเปรียบเทียบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติที่กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 และได้รับการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลแล้ว ในช่วงปี พ.ศ. 2563 ถึง 2566 ตัวอย่างรอยลายนิ้วมือแฝง

ที่ตรวจเก็บได้จากกระจกหน้าต่างบานเลื่อนในสถานที่เกิดเหตุแสดงในรูปที่ 1



1a 1b

รูปที่ 1a รอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากนิ้วนางขวา **1b** รอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากนิ้วหัวแม่มือซ้าย

1. ประชากรและตัวอย่าง

กลุ่มประชากรแผ่นเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจตรงเอฟิสในช่วงปี พ.ศ. 2563 ถึง 2566 มีจำนวนทั้งสิ้น 355 คดี จำแนกแผ่นเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงออกเป็นกลุ่มย่อยโดยใช้ปี พ.ศ. ได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม คำนวณหาจำนวนตัวอย่างที่ต้องทำการสุ่มจากประชากรทั้งหมดโดยใช้ตาราง Taro Yamane ที่ความคลาดเคลื่อน 5 % ได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 155 คดี แล้วจึงใช้วิธีการสุ่มอย่างง่ายสุ่มตัวอย่างจากแต่ละกลุ่มปี พ.ศ. ตามสัดส่วนของจำนวนประชากรแผ่นเก็บลายนิ้วมือแฝงนั้น ตัวอย่างใดที่ถูกสุ่มแล้วจะไม่นำกลับไปรวมอีกเพื่อป้องกันการสุ่มซ้ำ เมื่อสุ่มตัวอย่างจนครบแล้วนำแผ่นเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงทั้ง 155 คดีมาตรวจสอบพบว่ามีจำนวนลายนิ้วมือแฝง 597 รอย

2. เครื่องมือ

การถ่ายภาพรอยลายนิ้วมือแฝง โดยกำหนดระยะห่างจากภาพ 10 เซนติเมตร ใช้กล้องหลังโทรศัพท์ VIVO รุ่น V21 ความละเอียด 64 ล้านพิกเซลกำลังขยาย 3.1 เท่า นำไฟล์ภาพไปนับจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษและบันทึกลักษณะทางกายภาพลายนิ้วมือโดยผู้ชำนาญด้านการตรวจลายนิ้วมือแฝงลงในแบบบันทึกข้อมูลโครงการวิจัยที่ผ่านการพิจารณารับรองจากสำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ รหัสโครงการ MJUIRB ST013/67 ดังนี้

2.2.1 คณะผู้วิจัยจำนวน 1 คนทำการวัดขนาดความกว้าง และความยาว ของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ได้รับการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลแล้วโดยใช้เวอร์เนียดิจิตอล (INSIZE รุ่น 1114-150A) ซึ่งมีการตรวจสอบความถูกต้องของการวัดโดยใช้บล็อกมาตรฐาน ทำการปรับค่าศูนย์ทุกครั้งก่อนเริ่มวัดขนาดลายนิ้วมือ บันทึกค่าในหน่วยมิลลิเมตร (มม.) ความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.2.2 การระบุพื้นผิววัตถุพยาน กำหนดรหัสพื้นผิววัตถุพยาน ดังนี้ 1=พื้นผิวไม่มีรูพรุน 2=พื้นผิวกึ่งรูพรุน 3=พื้นผิวมีรูพรุน ระบุเพศของลายนิ้วมือที่ตรวจตรงเอฟิสโดยกำหนดรหัสเพศดังนี้ 1=เพศชาย 2=เพศหญิง พร้อมทั้งประเมิน

ลักษณะความสมบูรณ์ของรอยลายนิ้วมือแฝง กำหนดรหัสดังนี้ 1=ติดเต็มนิ้วและรู้รูปแบบ (มีพื้นที่ 75–100% ของหน้านิ้ว เห็นใจกลางและสันดอนได้ชัดเจน) 2=ติดไม่เต็มนิ้วแต่รู้รูปแบบ (พื้นที่ 35–74% เห็นใจกลางและสันดอนได้บางส่วน) 3= ติดไม่เต็มนิ้วและไม่รู้รูปแบบ (พื้นที่ 15–34% เห็นใจกลางหรือสันดอนบางส่วน หรือไม่ปรากฏเลย)

2.2.3 การระบุชนิดของนิ้วมือที่ตรวจตรงเอฟิส กำหนดรหัสนิ้วมือดังนี้ 1R=นิ้วหัวแม่มือขวา 2R=นิ้วชี้ขวา 3R=นิ้วกลางขวา 4R=นิ้วนางขวา 5R=นิ้วก้อยขวา 1L=นิ้วหัวแม่มือซ้าย 2L=นิ้วชี้ซ้าย 3L=นิ้วกลางซ้าย 4L=นิ้วนางซ้าย 5L=นิ้วก้อยซ้าย

2.2.4 กำหนดรหัสรูปแบบลายนิ้วมือ ดังนี้ 0=ไม่ทราบรูปแบบ 1=โค้งราบ 2=โค้งกระโจม 3= มัดหวายปัดขวา 4=มัดหวายปัดซ้าย 5=ก้นหอย นอกจากนี้ยังจำแนกลายนิ้วมือรูปแบบก้นหอยออกตามลักษณะเด่นโดยกำหนดรหัสรูปแบบย่อยของลายนิ้วมือรูปแบบก้นหอยดังนี้ 0=ก้นหอยระบุรูปแบบไม่ได้ 1=ก้นหอยธรรมดา 2=ก้นหอยกระเป๋ากลาง 3=ก้นหอยกระเป๋าข้าง 4=มัดหวายแฝด 5=ซับซ้อน

2.2.5 การวิเคราะห์และการนำเสนอข้อมูล แบ่งเป็น 2 ส่วนตามชนิดของข้อมูล โดยวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่าง ได้แก่ นิ้วที่ตรวจตรงเอฟิส ลักษณะพื้นผิววัตถุพยานที่ตรวจพบลายนิ้วมือแฝง รูปแบบของลายนิ้วมือ จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษลายนิ้วมือ ขนาดความกว้างและความยาวของรอยลายนิ้วมือแฝงแต่ละรอย นำเสนอโดยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ ความกว้าง และความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือเปรียบเทียบกับความกว้าง และความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วอื่นของเพศชายและหญิง ใช้วิธี Independent T-Test โดยถือว่ามีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ p-value<0.05

การวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่พบในสถานที่เกิดเหตุ

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพความสมบูรณ์ของรอยลายนิ้วมือแฝงซึ่งได้รับการตรวจพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคลในระบบ AFIS แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะความสมบูรณ์ของรอยลายนิ้วมือแฝงที่พบในสถานที่เกิดเหตุ

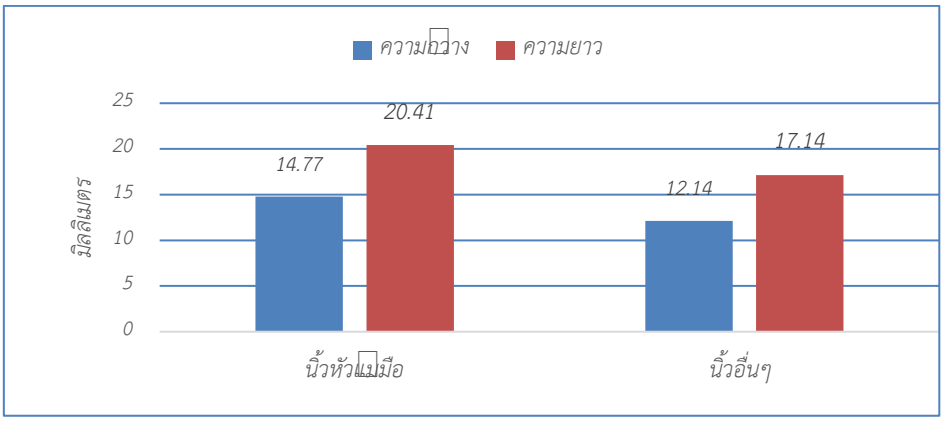
ลักษณะความสมบูรณ์ของลายนิ้วมือแฝง	จำนวนรอย	ร้อยละ
ติดเต็มนิ้วและรู้รูปแบบลายนิ้วมือ	150	25.12
ติดไม่เต็มนิ้วแต่รู้รูปแบบลายนิ้วมือ	322	53.94
ติดไม่เต็มนิ้วและไม่รู้รูปแบบลายนิ้วมือ	125	20.94
รวม	**597**	**100**

เมื่อจำแนกตามความสามารถในการระบุรูปแบบลายนิ้วมือ พบว่าลายนิ้วมือแฝงที่ไม่สามารถระบุรูปแบบที่แน่นอนได้ 20.94 % และเมื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของรอยลายนิ้วมือแฝง

พบว่าเป็นรอยลายนิ้วมือที่ติดไม่เต็มนิ้วมากถึง 74.88% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chanachinrat & Girdthep (2023) ที่กล่าวว่ารอยลายนิ้วมือแฝงที่ถูกทิ้งไว้ในสถานที่เกิดเหตุเป็นรอยประทับที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะพบรอยลายนิ้วมือแฝงที่ติดเพียงบางส่วน รอยประทับนิ้วมือมีลักษณะไม่เต็มนิ้ว

3.1.2 ขนาดความกว้าง ความยาวของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือที่พบในสถานที่เกิดเหตุ

ค่าเฉลี่ยขนาดความกว้างและความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือและเกิดจากการประทับนิ้วอื่น ๆ ได้แก่ นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของรอยประทับที่เกิดจากนิ้วหัวแม่มือเมื่อจำแนกออกจากรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่น ๆ

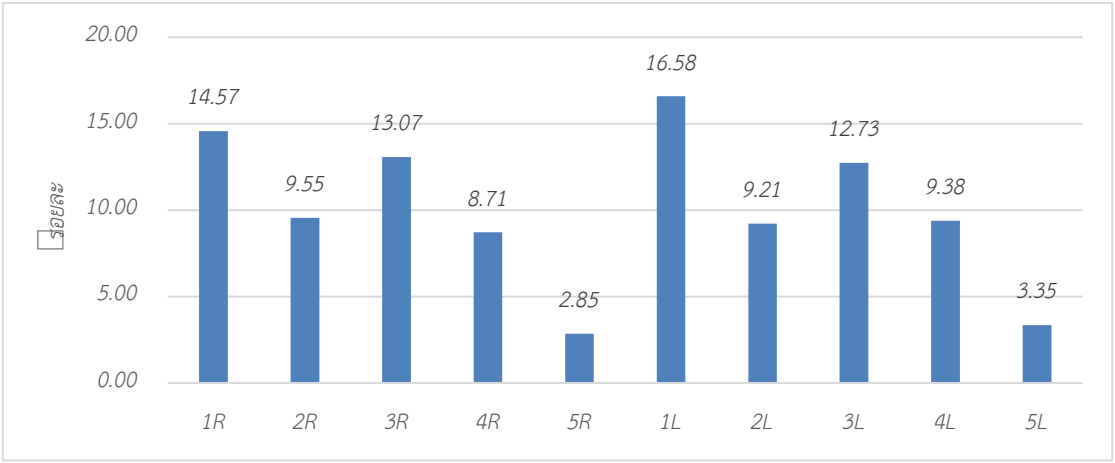
จากรูปที่ 2 พบว่านิ้วหัวแม่มือมีค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวมากกว่านิ้วอื่น ๆ จึงทำการจำแนกลักษณะทางกายภาพ ความกว้าง ความยาวของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือแต่ละนิ้ว แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความกว้างและความยาวของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือแต่ละนิ้วในสถานที่เกิดเหตุ (n=597)

ชนิดนิ้วมือ	จำนวนตัวอย่าง	ความกว้าง (มม.)				ความยาว (มม.)			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1R	86	8.62	21.15	14.96	2.84	9.06	30.56	19.59	4.32
2R	57	5.34	19.97	12.16	2.39	9.73	22.92	17.02	3.45
3R	78	7.24	16.69	12.14	2.27	8.33	23.73	17.52	3.55
4R	52	5.48	18.34	12.43	2.64	10.31	24.54	18.08	3.54
5R	17	7.43	14.14	11.20	1.76	11.03	20.95	15.64	2.53
1L	98	8.31	22.71	14.61	3.25	7.59	29.64	21.13	4.82

ชนิดนิ้วมือ	จำนวนตัวอย่าง	ความกว้าง (มม.)				ความยาว (มม.)			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.
2L	56	8.08	19.68	12.18	2.18	8.85	23.31	16.94	3.64
3L	76	6.13	19.06	12.64	2.56	9.09	25.11	17.30	3.34
4L	57	5.35	17.14	11.92	2.58	10.34	24.91	16.91	3.34
5L	20	6.42	16.88	10.65	2.33	11.29	23.62	15.45	3.70

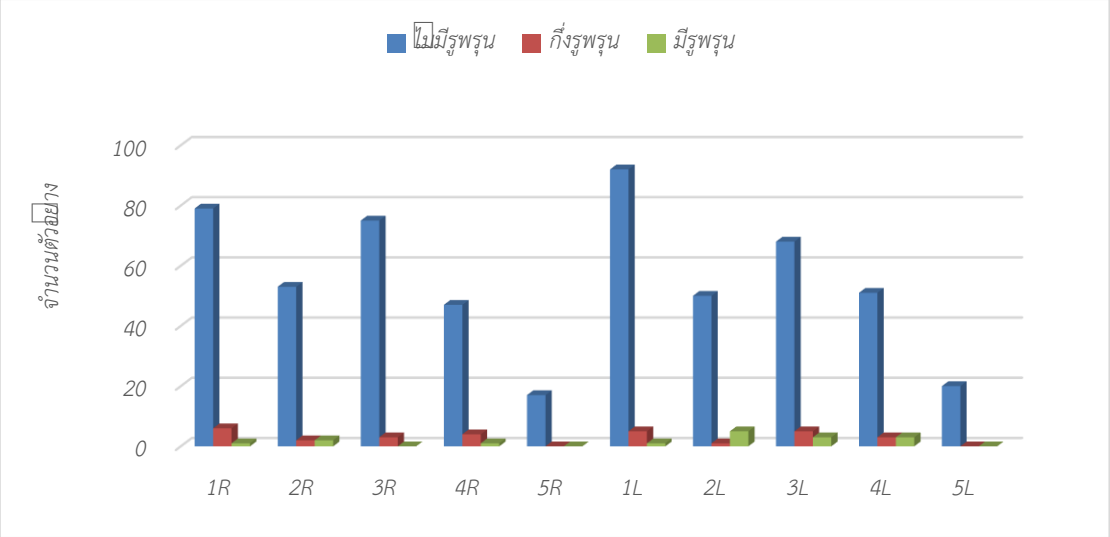
จากตารางที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือมีค่ามากที่สุด โดยนิ้วหัวแม่มือขวากว้าง 14.96±2.84 มม.ยาว 19.59±4.32 มม. นิ้วหัวแม่มือซ้ายกว้าง 14.61±3.25 มม. ยาว 21.13±4.82 มม. ในขณะที่รอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วก้อยมีค่าเฉลี่ยความกว้างและความยาวน้อยที่สุด โดยนิ้วก้อยขวากว้าง 11.20±1.76 ยาว 15.64±2.53 มม. นิ้วก้อยซ้ายกว้าง 10.65±2.33 ยาว 15.45±3.70 มม. นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกสัดส่วนรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือที่ต่างกันในสถานที่เกิดเหตุแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สัดส่วนของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือที่ต่างกันที่พบในสถานที่เกิดเหตุ

จากรูปที่ 3 พบรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือ (1R และ 1L) ในสัดส่วนมากกว่ารอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับจากนิ้วชี้ (2R และ 2L) นิ้วกลาง (3R และ 3L) นิ้วนาง (4R และ 4L) และนิ้วก้อย (5R และ 5L) ในสถานที่เกิดเหตุ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chanachinrat & Girdthep (2023) ที่กล่าวว่ามีโอกาสพบรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากนิ้วใดนิ้วหนึ่งไม่เฉพาะเจาะจง หรือมีโอกาสที่จะพบลายนิ้วมือแฝงทั้ง 10 นิ้ว ในสถานที่เกิดเหตุ

3.1.3 ลักษณะพื้นผิววัตถุพยานที่พบลายนิ้วมือแฝงซึ่งเกิดจากการประทับนิ้วมือแต่ละนิ้วที่พบในสถานที่เกิดเหตุ แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิววัตถุพยานที่มีลายนิ้วมือแฝงปรากฏอยู่

จากรูปที่ 4 พบว่าลายนิ้วมือแฝงถูกทิ้งไว้บนพื้นผิววัตถุพยานที่มีลักษณะต่างกัน วัตถุพยานพื้นผิวไม่มีรูพรุนมีโอกาสพบลายนิ้วมือแฝงได้มากที่สุด ส่วนวัตถุพยานพื้นผิวมีรูพรุนและกึ่งรูพรุนสามารถพบรอยลายนิ้วมือแฝงประทับอยู่ได้เช่นกัน กล่าวได้ว่าลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บจากสถานที่เกิดเหตุซึ่งถูกประทับอยู่บนพื้นผิววัตถุพยานต่างชนิดกันสามารถนำไปใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลได้ ทั้งลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บจากวัตถุพยานพื้นผิวไม่มีรูพรุน มีรูพรุน และกึ่งรูพรุน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Seesuk & Seelanan (2023) ที่กล่าวว่าสามารถนำลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิววัตถุพยานที่ต่างกันไปใช้ในการยืนยันตัวบุคคล

3.1.4 จำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บจากสถานที่เกิดเหตุและใช้ในการยืนยันตัวบุคคล แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวน Minutiae ที่เกิดจากการประทับนิ้วมือแต่ละนิ้วที่พบในสถานที่เกิดเหตุ (n=597)

นิ้วมือ	1R	2R	3R	4R	5R	1L	2L	3L	4L	5L
จำนวนลายนิ้วมือ	86	57	78	52	17	98	56	76	57	20
Minutiae ค่าต่ำสุด	10	10	10	10	10	10	11	10	10	10
Minutiae ค่าสูงสุด	63	47	52	59	31	67	46	45	54	38
Minutiae ค่าเฉลี่ย	30.30	23.47	23.35	24.19	20.76	28.87	22.55	24.96	24.16	18.85
S.D.	13.23	9.35	10.49	11.78	21.40	13.11	9.65	10.02	11.98	7.65

จากตารางที่ 3 พบว่ารอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้จากสถานที่เกิดเหตุที่มีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษไม่น้อยกว่า 10 จุดสามารถตรวจตรงกับบุคคลที่ได้รับการบันทึกประวัติในฐานข้อมูลเอฟิส และสามารถระบุยืนยันตัวบุคคล สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singthong (2015) ที่กล่าวว่าลายนิ้วมือที่มีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษตั้งแต่ 10 จุดขึ้นไปจัดว่ามีคุณภาพเพียงพอ

แก่การใช้ยืนยันตัวบุคคล จุดลักษณะสำคัญพิเศษรอยลายนิ้วมือแฝงแสดงเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่โดดเด่นไม่ซ้ำกันของรอยลายนิ้วมือแฝงเมื่อมีจำนวนจุดมากช่วยทำให้เกิดประสิทธิผลในการสืบค้นกับฐานข้อมูลได้เฉพาะเจาะจงกับบุคคลเจ้าของลายนิ้วมือได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

3.1.5 การพิจารณารูปแบบของลายนิ้วมือแฝง ชนิดของนิ้วมือที่ตรวจตรงเอฟิส ที่พบในสถานที่เกิดเหตุ

ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของรูปแบบลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือแต่ละนิ้ว แสดงในตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 รูปแบบของรอยลายนิ้วมือแฝงแต่ละนิ้วที่พบในสถานที่เกิดเหตุ (n=597)

ชนิดนิ้วมือ	จำนวนตัวอย่าง	รูปแบบลายนิ้วมือ (%)					
		โค้งราบ	โค้งกระโจม	มัดหวายปัดขวา	มัดหวายปัดซ้าย	ก้นหอย	ไม่ทราบ
1R	86	1 (1.20)	-	17 (19.80)	-	53 (61.60)	15 (17.40)
2R	57	-	-	15 (26.30)	9 (15.80)	24 (42.10)	9 (15.80)
3R	78	-	-	38 (48.80)	-	26 (33.30)	14 (17.90)
4R	52	-	-	6 (11.50)	1 (1.90)	32 (61.50)	13 (25.10)
5R	17	-	-	8 (47.10)	-	7 (41.20)	2 (11.70)
1L	98	5 (5.10)	-	-	34 (34.70)	40 (40.80)	19 (19.40)
2L	56	2 (3.60)	1 (1.80)	5 (8.90)	15 (26.80)	22 (39.30)	11 (19.60)
3L	76	-	-	-	34 (44.70)	25 (32.90)	17 (22.40)
4L	57	-	-	-	7 (12.30)	33 (57.90)	17 (29.80)
5L	20	-	.o-	-	8 (40.00)	4 (20.00)	8 (40.00)
รวม	597	8 (1.30)	1 (0.20)	89 (14.90)	108 (18.10)	266 (44.60)	125 (20.90)

ตารางที่ 5 รูปแบบย่อยก้นหอยของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือแต่ละนิ้ว (n=266)

ชนิดนิ้วมือ	จำนวนตัวอย่าง	รูปแบบย่อยก้นหอย (ร้อยละ)					
		ธรรมดา	กระเป๋ากลาง	กระเป๋าข้าง	มัดหวายแฝด	ซับซ้อน	ระบุไม่ได้
1R	53	31 (58.49)	-	-	17 (32.08)	-	5 (9.43)
2R	24	16 (66.67)	1 (4.16)	-	7 (29.17)	-	-
3R	26	15 (57.69)	4 (15.38)	-	5 (19.24)	-	2 (7.69)
4R	32	17 (53.13)	13 (40.63)	-	-	-	2 (6.24)
5R	7	2 (28.57)	3 (42.86)	-	-	-	2 (28.57)
1L	40	12 (30.00)	1 (2.50)	-	19 (47.50)	-	8 (20.00)
2L	22	9 (40.91)	2 (9.09)	-	6 (27.27)	-	5 (22.73)
3L	25	19 (76.00)	-	-	2 (8.00)	-	4 (16.00)
4L	33	17 (51.52)	7 (21.21)	-	3 (9.09)	-	6 (18.18)
5L	4	1 (25.00)	1 (25.00)	-	1 (25.00)	-	1 (25.00)
รวม	266	139 (52.26)	32 (12.02)	-	60 (22.56)	-	35 (13.16)

จากตารางที่ 4 และตารางที่ 5 พบว่าไม่สามารถระบุรูปแบบลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วมือทั้ง 10 นิ้วได้ทั้งหมดเนื่องจากมีความสมบูรณ์ของรอยน้อย ซึ่งรอยลายนิ้วมือแฝงที่ไม่สมบูรณ์เหล่านี้อาจเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของลายนิ้วมือรูปแบบโค้งราบ โค้งกระโจม มัดหวายปัดขวา มัดหวายปัดซ้าย ก้นหอยธรรมดา ก้นหอยกระเป๋ากลาง ก้นหอยกระเป๋าข้าง มัดหวายแฝด หรือรูปแบบซับซ้อน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่ามีโอกาสที่จะพบรูปแบบลายนิ้วมือแฝงได้ทั้ง 9 รูปแบบไม่เฉพาะเจาะจงในสถานที่เกิดเหตุ

3.2 การเปรียบเทียบขนาดความกว้างความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากรอยประทับนิ้วหัวแม่มือกับรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่น ใช้สถิติ Independent T-Test ทำการวิเคราะห์ความแตกต่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการตรวจสอบการแจกแจงปกติของความกว้าง และความยาว ของกลุ่มตัวอย่างนิ้วหัวแม่มือ และนิ้วอื่น ๆ พบว่ามีการแจกแจง

แบบปกติ (p-value > 0.05) ทั้งสองกลุ่มตามสถิติ Kolmogorov-Smirnov ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างขนาดความกว้าง ความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากรอยประทับนิ้วหัวแม่มือกับรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่น แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพความกว้าง ความยาวรอยประทับที่เกิดจากนิ้วหัวแม่มือกับรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่นๆ

ลักษณะทางกายภาพนิ้วมือ	ค่าเฉลี่ย	SD	T-Test	Sig (2-tailed)
ความกว้างนิ้วหัวแม่มือ (n=185)	14.77	3.06	10.31	0.00*
ความกว้างนิ้วอื่น ๆ (n=411)	12.14	2.43		
ความยาวนิ้วหัวแม่มือ (n=185)	20.41	4.65	8.53	0.00*
ความยาวนิ้วอื่น ๆ (n=411)	17.14	3.49		

จากตารางที่ 6 พบว่า ในสถานที่เกิดเหตุรอยประทับที่เกิดจากนิ้วหัวแม่มือมีขนาดความกว้าง และความยาวต่างจากรอยประทับที่เกิดจากนิ้วมือนิ้วอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความกว้างเฉลี่ย 14.77 ± 3.06 มม. มีความยาวเฉลี่ย 20.41 ± 4.65 มม. สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sinlapasat (2015) ที่กล่าวว่าความกว้างและความยาวของนิ้วหัวแม่มือแตกต่างจากนิ้วอื่นทั้งในเพศชายและเพศหญิง

3.3 การเปรียบเทียบขนาดความกว้างและความยาวของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายและเพศหญิง ใช้สถิติ Independent T-Test ทำการวิเคราะห์ความแตกต่าง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากการตรวจสอบการแจกแจงปกติ ความกว้างและความยาวนิ้วของหัวแม่มือกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิงหญิง พบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ (p-value > 0.05) ทั้งสองกลุ่มตามสถิติ Shapiro-Wilk ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างขนาดความกว้าง และความยาวรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายและเพศหญิง แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพความกว้าง ความยาวรอยประทับที่เกิดจากนิ้วหัวแม่มือของเพศชายกับเพศหญิง

ลักษณะทางกายภาพนิ้วมือ	ค่าเฉลี่ย	SD	T-Test	Sig (2-tailed)
เพศชายความกว้างนิ้วหัวแม่มือ (n=173)	14.92	3.06	2.54	0.012*
เพศหญิงความกว้างนิ้วหัวแม่มือ (n=12)	12.63	2.18		
เพศชายความยาวนิ้วหัวแม่มือ (n=173)	20.58	4.59	1.95	0.053
เพศหญิงความยาวนิ้วหัวแม่มือ (n=12)	17.90	4.93		

จากตารางที่ 7 กล่าวได้ว่ารอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายและเพศหญิงมีความยาวไม่ต่างกัน แต่มีความกว้างต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยรอยลายนิ้วมือแฝงที่

สรุปผลการวิจัย

รอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจพบในสถานที่เกิดเหตุที่นำไปใช้พิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลได้ต้องมีจำนวนจุดลักษณะสำคัญพิเศษไม่น้อยกว่า 10 จุด จึงสามารถตรวจตรงกับฐานข้อมูลทะเบียนประวัติอาชญากรของบุคคลในระบบเอฟิส แม้จะมีความไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถระบุรูปแบบลายนิ้วมือได้ และสามารถพบลายนิ้วมือแฝงประทับอยู่บนพื้นผิววัตถุพยานชนิดไม่มีรูพรุน กึ่งรูพรุน และมีรูพรุน ในสถานที่เกิดเหตุพบรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือในสัดส่วนมากกว่ารอยประทับที่เกิดจากนิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง และนิ้วก้อย มีโอกาสที่จะพบลายนิ้วมือแฝงได้ทั้ง 9 รูปแบบในสถานที่เกิดเหตุโดยรูปแบบก้นหอยพบในสัดส่วนมากที่สุด รอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือมีความกว้างและความยาวต่างจากรอยประทับที่เกิดจากนิ้วอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความกว้างเฉลี่ย 14.77 ± 3.06 มม. มีความยาวเฉลี่ย 20.41 ± 4.65 มม. ความกว้างของรอยลายนิ้วมือแฝงที่เกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายแตกต่างจากเพศหญิง ส่วนความยาวของรอยประทับนิ้วหัวแม่มือของทั้งสองเพศไม่ต่างกัน

ผลที่ได้จากการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินลักษณะของรอยลายนิ้วมือแฝงในเกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือของเพศชายมีความกว้างเฉลี่ย 14.92 ± 3.06 มม. เพศหญิงมีความกว้างเฉลี่ย 12.63 ± 2.18 มม.

สถานที่เกิดเหตุเพื่อประกอบการตัดสินใจนำส่งลายนิ้วมือแฝงไปสืบค้นในฐานข้อมูลกองทะเบียนประวัติอาชญากร และหากสามารถระบุได้ว่ารอยลายนิ้วมือแฝงนั้นเกิดจากการประทับนิ้วหัวแม่มือสามารถนำส่งไปสืบค้นในฐานข้อมูลกรมการปกครองได้อีกช่องทางหนึ่งเพื่อให้สามารถระบุตัวบุคคลเจ้าของลายนิ้วมือได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอแนะให้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ รวมถึงพนักงานเจ้าหน้าที่ผู้มีอำนาจสืบสวน สอบสวน นำองค์ความรู้ที่ได้ไปเป็นแนวทางปฏิบัติในการวิเคราะห์รอยลายนิ้วมือแฝงที่พบในสถานที่เกิดเหตุเพื่อใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลทุติยภูมิและใช้ห้องปฏิบัติงานในการเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึง สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนแนวทางในการดำเนินกานวิจัยเกี่ยวกับจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

Amata, B., Aprea, G. M., Chiuri, A., & Zampa, F. (2015). Fingerprint on trigger: A real case. *Forensic Science International, 253*, e25-e27. doi:https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.05.024

Ashbaugh, D. R. (1999) . *Quantitative- Qualitative Friction Ridge Analysis: An Introduction to Basic and Advanced Ridgeology (1st ed.)*: CRC Press.

Chanachinrat, G. (2022). *Quality Analysis of Latent Fingermarks on Plastic Packaging of Narcotics by Automated Fingerprints Identification System.* [Doctoral dissertation, Silpakorn University], Retrieved from http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/handle/123456789/4454

Chanachinrat, G., & Girdthep, S. (2023). The comparative study of fingerprint developing methods on narcotics packaging which collected latent fingerprints for identification in Police Forensic Science Center 7. *Journal of Science and Technology Kasetsart University, 12*(1), 41-57. Retrieved from https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/jstku/article/view/5303

Girdthep, S., Suvokhiaw, S., Choosakoonkriang, S., Chanachinrat, G., & Suwanchawalit, C. (2026). Microwave-assisted synthesis of boron and nitrogen co-doped carbon dots immobilized on SiO2 nanoparticles for high-resolution latent fingerprint detection. Optical Materials, 174, 117919. doi:https://doi.org/10.1016/j.optmat.2026.117919

Maćkiewicz, E., Rogowski, J., Parczewski, A., & Szynkowska-Jóźwik, M. I. (2026). Application of ToF-SIMS to detection and imaging of cannabis-contaminated fingerprints – A preliminary study. Forensic Science International, 378, 112706. doi:https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2025.112706

Seesuk, P., & Seelanan, P. (2023). The comparison of sweat pores from latent fingerprint on different surfaces. *APHEIT Journal (SCIENCE and Technology), 12*(2), 01 - 09. https://li01.tcithaijo.org/index.php/apheitoffice_science/article/view/259421

Singthong, S. (2015). Fingerprints and Personal Identification. *Prae-wa Kalasin Journal of Kalasin University, 2*(2), 52-63. https://so05.tci-thaijo.org/index.php/Praewa-ksu_Journal/article/download/89379/70364

Sinlapasat, P. (2015). *HAND AND FOOT ANTHROPOMETRY ANDRANGE OF MOTIONIN THE ELDERLY.* [Master's thesis, Suranaree University of Technology], Retrieved from http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/6090/5/Fullext.pdf

POLICETV สถานีโทรทัศน์สำนักงานตำรวจแห่งชาติ. (2022). โครงการระบบขยายและพัฒนาระบบตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติระยะที่ 5. https://www.facebook.com/watch/?v=554662412719604

สำนักบริหารการทะเบียนกรมการปกครอง. (2562). ความสำคัญบัตรประจำตัวประชาชน. เดอะวัน, 11(3), https://www.bora.dopa.go.th/wp-content/uploads/2022/03/Theone62_03.pdf

ประสิทธิภาพของการให้ความร้อนโดยตรงในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล และการเปรียบเทียบการประเมินคุณภาพระหว่างผู้เชี่ยวชาญทางนิติวิทยาศาสตร์กับปัญญาประดิษฐ์

Efficacy of direct heat application for latent fingerprint development on thermal paper : A comparative quality assessment between experts and artificial intelligence

นวพร เฉลิมชวลิต[1], ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี[2], ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง[3], อรทัย เขียวพุ่ม[4]
ภาควิชานิติวิทยาศาสตร์[1], ภาควิชาเคมี[2,3], ภาควิชาฟิสิกส์[4],
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร[1,2,3,4]

Navaporm Chalermchavalit[1], Supachai Supaluknari[2], Sirirat Choosakoonkriang[3] Orathai Kheawpum[4]
Forensic science[1],Department of Chemistry[2,3],
Department of Physics[4] , Faculty of Science, Silpakorn University[1,2,3,4]
E-mail: sosomoey12@icloud.com[1,2,3,4]

Received: April 9, 2026; Revised: May 11, 2026; Accepted: May 25, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการให้ความร้อนในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล และเปรียบเทียบผลการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือระหว่างผู้เชี่ยวชาญด้านนิติวิทยาศาสตร์กับปัญญาประดิษฐ์ (ChatGPT) โดยใช้ตัวอย่างกระดาษเทอร์มอลจำนวน 80 ตัวอย่าง จากสลิปเครื่องถอนเงินอัตโนมัติ (ATM receipts) และใบเสร็จรับเงินจากเครื่องรับชำระเงิน (POS receipts) ลายนิ้วมือแฝงถูกพัฒนาโดยใช้แผ่นให้ความร้อน (Hot plate, 100 °C) และเตารีด (Iron, 70-100 °C) ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่า วิธี Hot plate ให้ค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือสูงกว่า และมีความสม่ำเสมอมากกว่าวิธีเตารีดเล็กน้อย ขณะที่กระดาษประเภท ATM ให้คุณภาพลายนิ้วมือสูงกว่ากระดาษประเภท POS เล็กน้อย การเปรียบเทียบผลประเมินพบว่า ChatGPT ให้คะแนนใกล้เคียงกับผู้เชี่ยวชาญ โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.56$) และมีค่า Weighted Cohen's Kappa เท่ากับ 0.62 ซึ่งสะท้อนระดับความสอดคล้องที่ยอมรับได้ทางวิชาการ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า AI มีศักยภาพในการใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการประเมินลายนิ้วมือแฝงในงานนิติวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เชิงลึกยังคงจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญ

คำสำคัญ: ลายนิ้วมือแฝง กระดาษเทอร์มอล แผ่นให้ความร้อน ปัญญาประดิษฐ์ นิติวิทยาศาสตร์

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effectiveness of direct heat application for developing latent fingerprints on thermal paper and to compare fingerprint quality assessments between forensic experts and artificial intelligence (ChatGPT). A total of 80 thermal paper samples, including automated teller machine (ATM) receipts and point-of-sale (POS) receipts, were examined. Latent fingerprints were developed using two heat-based methods: a hot plate (100 °C) and an iron (70-100 °C) under controlled experimental conditions. The results indicated that the hot plate method produced slightly higher average fingerprint quality scores and demonstrated greater consistency than the iron method. In addition, ATM thermal paper yielded slightly higher fingerprint quality than POS thermal paper. Comparative evaluation revealed that ChatGPT provided scores comparable to those of forensic experts, with no statistically significant difference ($p = 0.56$). The agreement analysis demonstrated a Weighted Cohen's Kappa value of 0.62 indicating a substantial level of agreement that is academically acceptable. These findings suggest that artificial intelligence has potential as a supportive tool for latent fingerprint assessment in forensic science. Nevertheless, in-depth analysis and courtroom-admissible interpretation still necessitate expert judgment.

Keywords: Latent fingerprints, Thermal paper, Heating element, Artificial intelligence, Forensic science.

บทนำ

ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา มาตรา 226 และมาตรา 227 สรุปใจความสำคัญได้ว่าศาลสามารถรับฟังพยานหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ได้แต่ต้องไม่ขัดต่อกฎหมาย และใช้ดุลพินิจในการชั่งน้ำหนักความน่าเชื่อถือของหลักฐานนั้นก่อนวินิจฉัยคดี (ป.วิ.อ, มาตรา 226-227) ดังนั้นคุณภาพของหลักฐาน และที่มาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการนำมาพิจารณาในคดี

ในปัจจุบันคดีเกี่ยวกับอาชญากรรมทางการเงินในรูปแบบการฉ้อโกงทางธุรกรรม การยักย้ายถ่ายเท การฟอกเงิน รวมถึงการปลอมแปลงเอกสารทางการเงิน มีความซับซ้อน และมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้การตรวจสอบ และป้องกันทำได้ยากส่งผลกระทบต่อทั้งตัวบุคคล และเศรษฐกิจ หลักฐานที่เกี่ยวข้องกับธุรกรรมทางการเงิน อย่างสลิปเครื่องถอนเงินอัตโนมัติ (Automated Teller Machine : ATM) และใบเสร็จรับเงินจากเครื่องรับชำระเงิน (Point of Sale : POS) จึงกลายเป็นวัตถุพยานสำคัญในการตรวจสอบ และติดตามผู้กระทำความผิด โดยเฉพาะการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงบนสลิป ATM และ POS ซึ่งสามารถใช้เชื่อมโยงบุคคลกับเหตุการณ์ และช่วยสนับสนุนกระบวนการยุติธรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ลายนิ้วมือแฝง (Latent fingerprints) เป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลในกระบวนการยุติธรรม เนื่องจากลายนิ้วมือของมนุษย์มีลักษณะเฉพาะตัว (Uniqueness) และมีความคงทนถาวรตลอดช่วงชีวิต (Permanence) จึงสามารถใช้เชื่อมโยงบุคคลกับสถานที่เกิดเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Champod et al., 2016; Becue et

al., 2020) การตรวจพบ และวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝง จึงถือเป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการสืบสวนสอบสวนคดีอาญา และได้รับการยอมรับในระดับสากล ลายนิ้วมือแฝงเกิดจากสารคัดหลั่งจากผิวหนัง เช่น เหงื่อและไขมัน ซึ่งถูกถ่ายโอนไปยังพื้นผิวเมื่อมีการสัมผัส โดยทั่วไปลายนิ้วมือแฝงไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จำเป็นต้องใช้เทคนิคทางวิทยาศาสตร์ในการทำให้ปรากฏ เช่น การใช้ผงฝุ่น การใช้สารเคมี เช่น Ninhydrin และ Cyanoacrylate รวมถึงการใช้ความร้อนสำหรับพื้นผิวบางประเภท (Holder et al., 2011; Chen et al., 2022)

สลิป ATM และ POS เป็นหลักฐานธุรกรรมทางการเงินที่ถูกพิมพ์ลงบนกระดาษเทอร์มอล (Thermal paper) ซึ่งกระดาษชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในเครื่องบันทึกข้อมูล และเครื่องแฟกซ์ต่อมาได้มีการพัฒนาให้มีความคงทนและความเสถียรของสีดีขึ้นจึงถูกนำมาใช้ในระบบการพิมพ์ใบเสร็จ กระดาษเทอร์มอลมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีชั้นเคลือบที่ไวต่อความร้อน (Thermosensitive coating) ซึ่งประกอบไปด้วยสารเคมีที่สามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อได้รับความร้อน (Liao et al., 2020) จึงทำให้สามารถพิมพ์ข้อมูลงบนกระดาษได้โดยไม่ต้องใช้หมึก ด้วยคุณสมบัติที่ไวต่อความร้อน และสารเคมีของกระดาษเทอร์มอลจึงส่งผลให้การตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวชนิดนี้มีความซับซ้อนมากกว่าพื้นผิวทั่วไป เนื่องจากการใช้สารเคมีบางชนิดหรือเทคนิคการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงทั่วไป เช่น Ninhydrin มีข้อจำคือไม่สามารถใช้กับพื้นผิวที่ไม่ดูดซับได้ อาจส่งผลกระทบต่อเอกสารบางประเภท ทำให้รายละเอียดของสันลายปรากฏไม่ชัดเจน (Girod et al., 2021) ด้วยเหตุนี้เทคนิคการให้ความร้อนจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล

เทคนิคการให้ความร้อน (Heat-based development) คือการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงโดยอาศัยความร้อนกระตุ้นให้สารตกค้างจากลายนิ้วมือทำปฏิกิริยากับชั้นเคลือบของกระดาษส่งผลให้ลวดลายนิ้วมือแฝงปรากฏชัดขึ้น อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงด้วยความร้อนอาจได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น อุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน แรงกดของลายนิ้วมือ และลักษณะของพื้นผิว ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของลายนิ้วมือที่ได้ (Bleay et al., 2021) ดังนั้น การประเมินคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงจึงมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ในกระบวนการเปรียบเทียบและพิสูจน์เอกลักษณ์ โดยทั่วไปการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝงจะดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งพิจารณาจากความชัดเจนของสันลาย (Ridge clarity) ความต่อเนื่องของลาย และจำนวนจุดลักษณะเฉพาะ (Minutiae) อย่างไรก็ตาม การประเมินดังกล่าวมีลักษณะเชิงอัตวิสัย และอาจเกิดความแปรผันระหว่างผู้ประเมิน (Inter-examiner variability) ได้ (Ulery et al., 2011)

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) กำลังมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และเข้ามามีบทบาทในชีวิตมนุษย์มากขึ้นทั้งในด้านการทำงาน การวิเคราะห์ข้อมูล การช่วยตัดสินใจ ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยวิเคราะห์ข้อมูล เพิ่มความแม่นยำ คัดกรองเบื้องต้น และสนับสนุนการพิสูจน์หลักฐานโดยเฉพาะด้านการวิเคราะห์ภาพและการรู้จำรูปแบบ (Pattern recognition) ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอ ลดความคลาด

เคลื่อนจากมนุษย์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูล (Zhang et al., 2023a)

ChatGPT เป็น AI ชนิดหนึ่งเป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ในกลุ่ม Large Language Models (LLMs) ถูกออกแบบให้สามารถประมวลผล ทำความเข้าใจ และสร้างภาษามนุษย์ได้ในระดับบริบท โมเดลดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นโดย OpenAI โดยใช้แบบจำลอง GPT ได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลจำนวนมหาศาลจากอินเตอร์เน็ต หนังสือ และเอกสารหลากหลายประเภท (Radford et al., 2019) การพัฒนา GPT มีลำดับขั้นสำคัญ ได้แก่ GPT-1, GPT-2, GPT-3 และ GPT-4 (OpenAI, 2023) ซึ่งแต่ละรุ่นมีจำนวนพารามิเตอร์และความสามารถในการประมวลผลที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Brown et al., 2020)

ถึงแม้โมเดลประเภท Large Language Model จะไม่ได้ถูกออกแบบมาโดยตรงเฉพาะสำหรับการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือเหมือนระบบ Automated Fingerprint Identification System (AFIS) แต่ ChatGPT มีศักยภาพในการวิเคราะห์รูปแบบภาพ และการประเมินเชิงโครงสร้างจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าได้ จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในฐานะเครื่องมือสนับสนุนการประเมินในงานนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนระหว่างผู้ประเมิน ได้มีการกำหนดคำสั่งแบบมีโครงสร้างสำหรับการวิเคราะห์ภาพลายนิ้วมือแฝง โดยกำหนดให้ระบบประเมินภาพจากเกณฑ์เดียวกับผู้เชี่ยวชาญพร้อมทั้งกำหนดระดับคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือแฝงอย่างชัดเจนเพื่อลดความกำกวมในการตีความ และเพิ่มความสามารถในการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝง อย่างไรก็ตามแม้ AI จะมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพ การประเมินลายนิ้วมือแฝง แต่ยังมีข้อจำกัดสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญ โดยเฉพาะในด้านการตีความบริบทและการวิเคราะห์รายละเอียดเชิงลึกของสันลาย ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์และวิจารณญาณของมนุษย์ (Dror et al., 2021) นอกจากนี้ ระบบ AI ยังพึ่งพาข้อมูลที่ใช้ในการฝึกเป็นหลัก จึงอาจไม่สามารถปรับตัวต่อรูปแบบลายนิ้วมือที่ซับซ้อนหรือไม่เคยพบมาก่อนได้ อีกทั้งความโปร่งใสในการอธิบายผลการตัดสินใจของ AI (Explainability) ยังเป็นข้อจำกัดสำคัญในบริบทของกระบวนการยุติธรรม (Rudin, 2019)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยที่บูรณาการการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอลด้วยเทคนิคความร้อนร่วมกับการประเมินคุณภาพโดย AI เปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญภายใต้การควบคุมตัวแปรเชิงระบบ ยังขาดการศึกษาในบริบทนี้โดยตรง ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการใช้ความร้อนในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล และเปรียบเทียบการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝงระหว่างระบบปัญญาประดิษฐ์กับผู้เชี่ยวชาญด้านนิติวิทยาศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ระดับความสอดคล้องของผลการประเมิน และสนับสนุนการพัฒนาแนวทางการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝงที่มีความแม่นยำน่าเชื่อถือและสอดคล้องกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ในงานนิติวิทยาศาสตร์

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการให้ความร้อนในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล

2. เพื่อวิเคราะห์ระดับความสอดคล้อง และความแตกต่างของการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือ

แฝงระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับระบบปัญญาประดิษฐ์ (ChatGPT)

สมมุติฐานของการวิจัย

H1: เทคนิคการให้ความร้อนมีผลต่อคุณภาพของลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

H2: การประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝงของ ChatGPT มีความสอดคล้องกับผู้ตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ในระดับที่ยอมรับได้ทางวิชาการ (Weighted Cohen's Kappa ≥ 0.61)

กรอบแนวคิดการวิจัย

ตัวแปรต้น :

1. วิธีให้ความร้อน (Hot plate, เตารีด)

2.ชนิดกระดาษ (สลิป ATM, POS)

ตัวแปรตาม: คุณภาพลายนิ้วมือแฝง คะแนน 0-3

1. คะแนนจากผู้เชี่ยวชาญ

2. คะแนนจาก ChatGPT

ตัวแปรควบคุม:

1. ผู้ให้ลายนิ้วมือ (1 คน)

2. น้ำหนักในการประทับลายนิ้วมือ (1,000-1,500 กรัม)

3. เวลากดประทับลายนิ้วมือ (20 วินาที)

4. อุณหภูมิ (Hot plate 100 ℃ , เตารีด 70-100 ℃)

5. ผู้ประเมิน (1 คน)

6. เกณฑ์การให้คะแนน (0-3)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเสนอแนวทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานตรวจสถานที่เกิดเหตุและการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ได้อย่างเป็นระบบ

2. เพื่อแสดงศักยภาพของ ChatGPT ในการสนับสนุนการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝง อันจะช่วยเพิ่มความรวดเร็ว ความสม่ำเสมอ และลดภาระงานของผู้เชี่ยวชาญ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ความร้อนในการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล และเปรียบเทียบผลการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝงระหว่างผู้เชี่ยวชาญกับ ChatGPT

วัสดุ อุปกรณ์ และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยกระดาษเทอร์มอลที่เก็บรวบรวมจากแหล่งใช้งานจริงในชีวิตประจำวันจำนวน 8 แห่ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สลิป ATM จำนวน 4 แห่ง ได้แก่ ธนาคารไทยพาณิชย์ (SCB) ธนาคารกสิกรไทย (KBANK) ธนาคารกรุงไทย (KTB) และธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (BAAC) และใบเสร็จรับเงิน POS จำนวน 4 แห่ง ได้แก่ ร้านกาแฟพันธุ์ไทย (PT) ร้าน 7-Eleven ร้าน Lotus Express และร้าน D.I.Y (ดังแสดงในรูปที่ 1)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ Hot plate ยี่ห้อ IKA รุ่น C-MAG HS 7 ขนาด 180 × 180 มิลลิเมตร ซึ่งใช้ควบคุมอุณหภูมิที่ 100 ℃ เตารีดไฟฟ้า ยี่ห้อ SHARP รุ่น AM-465 ซึ่งตั้งค่าระดับความร้อนที่ 1 (70–100 ℃) และเครื่องชั่งน้ำหนัก

ดิจิทัล ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PB1502 สำหรับควบคุมแรงกดในการสร้างลายนิ้วมือ

(a) (b) (c) (d)

รูปที่ 1 ตัวอย่างกระดาษเทอร์มอลที่ใช้ในการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝง ได้แก่ สลิป ATM จากธนาคารกรุงไทย (a) และธนาคารกสิกรไทย (b) รวมถึงใบเสร็จรับเงิน POS จากร้าน D.I.Y (c) และร้านกาแฟพันธุ์ไทย สถานีบริการน้ำมัน PT (d)

การตรวจเก็บและพัฒนาลายนิ้วมือแฝง

นำตัวอย่างกระดาษเทอร์มอลทั้ง 8 แหล่งที่ถูกเก็บรักษาไว้ในห้องปฏิบัติการที่ อุณหภูมิห้อง มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 4 x 10 เซนติเมตร จากนั้นให้อาสาสมัครทำการกดประทับลายนิ้วมือ โดยการศึกษานี้ได้รับความยินยอมจากอาสาสมัครก่อนทำการกดประทับลายนิ้วมือลงบนตัวอย่างกระดาษเทอร์มอล ข้อมูลของอาสาสมัครผู้ประทับลายนิ้วมือถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการวิจัยเท่านั้น ไม่มีการเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคล อาสาสมัครที่ทำการกดประทับลายนิ้วมือเป็นเพศหญิงอายุ 32 ปี น้ำหนัก 85 กิโลกรัม สูง 159 เซนติเมตร ก่อนการกดประทับอาสาสมัครต้องล้างมือด้วยน้ำและสบู่ จากนั้นปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติก่อนการประทับลายนิ้วมือ การกดประทับลายนิ้วมือกำหนดเงื่อนไขดังนี้ ใช้แรงกดบนเครื่องชั่ง 1,000–1,500 กรัม ซึ่งควบคุมด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล และกำหนดระยะเวลาในการกดคงที่ที่ 20 วินาที อาสาสมัครผู้ประทับลายนิ้วมือ ถูกคัดเลือกให้เป็นบุคคลที่สามารถสร้างลายนิ้วมือแฝงที่มีปริมาณสารคัดหลั่งเพียงพอต่อการทดลองได้อย่างสม่ำเสมอ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ผู้ให้ลายนิ้วมือจำนวน 1 คน ในทุกเงื่อนไขการทดลอง (Within-subject design) เพื่อควบคุมความ แปรผันให้ลักษณะลายนิ้วมือคงที่ มีความสม่ำเสมอ ลดความแตกต่างของ ridge pattern ปริมาณสารคัดหลั่ง และแรงกดของการประทับลายนิ้วมือ ให้คงที่ตลอดการทดลอง เมื่อประทับลายนิ้วมือแล้ว ตัวอย่างกระดาษเทอร์มอลจะถูกนำมาให้ความร้อนทันที โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อน 2 วิธี คือ (1) Hot plate นำตัวอย่างกระดาษเทอร์มอลมาอังบน Hot plate ที่อุณหภูมิ 100 ℃ ระยะห่าง 0.5 เซนติเมตร (2) เตารีด ด้วยการนำผ้าวางทับบนตัวอย่างกระดาษเทอร์มอล จากนั้นใช้เตารีดวางทับไว้บนผ้า ตั้งค่าอุณหภูมิเตารีดที่ระดับ 1 ตามข้อมูลจากผู้ผลิตมีช่วงอุณหภูมิคือ 70-100 ℃ โดยผู้วิจัย

ได้ควบคุมระยะเวลาในการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธี ไม่เกิน 30 วินาที โดยทำการทดลองซ้ำในแต่ละสถานที่จำนวน 10 ครั้ง แบ่งเป็น Hot plate 5 ครั้ง และเตารีด 5 ครั้ง รวมทั้งหมด 8 สถานที่ × 10 ครั้ง = 80 ตัวอย่าง

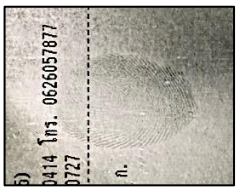
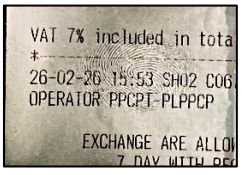
จากนั้นภาพลายนิ้วมือแฝงจะถูกบันทึกโดยใช้กล้องดิจิทัลของโทรศัพท์ iPhone 12 ซึ่งมีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล โดยใช้เลนส์ชนิด wide (f/1.6) ในโหมดอัตโนมัติ (auto mode) ภายใต้สภาวะแสงภายในห้องปฏิบัติการที่มีความเข้มแสงคงที่ (ประมาณ 300–500 lux) กล้องถูกจัดวางในตำแหน่งตั้งฉากกับพื้นผิวของตัวอย่าง และควบคุมระยะห่างประมาณ 10–15 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ภาพที่มีความคมชัดและสามารถเปรียบเทียบได้อย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2 นำภาพถ่ายรอยลายนิ้วมือแฝงมาตรวจประเมินคุณภาพลายนิ้วมือ โดยผู้ประเมิน 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 7 กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง อายุราชการ 12 ปี 4 เดือน ซึ่งใช้ผู้เชี่ยวชาญ 1 คน ทำการประเมินอย่างอิสระโดยไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการให้ความร้อน เพื่อควบคุมตัวแปรและลดความคลาดเคลื่อนระหว่างผู้ประเมิน (2) ChatGPT รุ่น GPT-4V ซึ่งเป็นโมเดล Multimodal ที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลภาพร่วมกับข้อความได้ โดยใช้คำสั่งแบบมีเกณฑ์ในการแปรผลที่กำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างเป็นมาตรฐาน โดยทั้งสองวิธีใช้เกณฑ์การให้คะแนนเดียวกันเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลอย่างเป็นธรรม โดยเกณฑ์การประเมินคุณภาพลายนิ้วมือใช้ระบบการให้คะแนนแบบ 4 ระดับ (0–3) โดยพิจารณาจากความชัดเจนของสันลาย (Ridge clarity) ความต่อเนื่องของสันลาย (Ridge continuity) และจำนวนจุดลักษณะเฉพาะ (minutiae) ซึ่งสามารถจำแนกระดับได้ตั้งแต่ไม่ปรากฏ (ระดับ 0) ไปจนถึงชัดเจนสมบูรณ์และสามารถใช้ยืนยันตัวบุคคลได้ (ระดับ 3) โดยอ้างอิงแนวทางจาก (Champod et al., 2016; Holder et al., 2011) ดังตารางที่ 1

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการโดยใช้การวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) เพื่อสรุปลักษณะของข้อมูลและทำความเข้าใจแนวโน้มของคุณภาพลายนิ้วมือแฝง โดยค่าเฉลี่ยใช้ในการแสดงระดับคุณภาพโดยรวมของลายนิ้วมือที่ได้จากแต่ละวิธีการทดลอง ขณะที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้ในการประเมินความแปรผันของข้อมูล การวิเคราะห์ความสอดคล้อง ระหว่างผู้ประเมินสองกลุ่ม ใช้สถิติ Weighted Cohen's Kappa (KW) ทำให้สามารถสะท้อนความสอดคล้องที่แท้จริงของการให้คะแนนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือแฝงระหว่างผู้เชี่ยวชาญและ ChatGPT ใช้สถิติ Wilcoxon signed-rank test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ นอกจากนี้วิเคราะห์ขนาดของอิทธิพลโดยใช้ค่าการสอบ Effect Size (Cohen's d) เพื่อประเมินความแตกต่างในเชิงปฏิบัติ ซึ่งช่วยเสริมความสมบูรณ์ของการตีความผลการวิจัย

รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏบนกระดาษเทอร์มอล หลังผ่านเทคนิคการให้ความร้อน

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝงตามระดับคะแนน 0–3

ระดับคะแนน	คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง	ตัวอย่าง
0	ไม่ปรากฏรอยลายนิ้วมือแฝง	
1	คุณภาพต่ำ มองเห็นรายละเอียดของลายเส้น ไม่สามารถชี้เฉพาะบุคคลได้ (<8 จุด)	
2	คุณภาพพอใช้ มองเห็นรายละเอียดของเส้น สามารถชี้เฉพาะบุคคลได้ (8-12 จุด)	
3	คุณภาพดี มองเห็นรายละเอียดของลายเส้น สามารถชี้เฉพาะบุคคลได้ (>12 จุด)	

ผลการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอล โดยใช้วิธีการให้ความร้อน 2

วิธี ได้แก่ Hot plate และ เตารีด โดยใช้ตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 80 ตัวอย่าง จากสลิป ATM และใบเสร็จรับเงิน POS จำนวน 8 สถานที่ และทำการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือโดยผู้เชี่ยวชาญและ ChatGPT

ผลการเปรียบเทียบคุณภาพลายนิ้วมือบนสลิป ATM และใบเสร็จ POS โดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือแฝงโดยผู้เชี่ยวชาญ แสดงในตารางที่2 พบว่าประสิทธิภาพของเทคนิคการให้ความร้อนขึ้นอยู่ทั้งกับ วิธีการให้ความร้อน และชนิดของกระดาษเทอร์มอล ในกลุ่มสลิป ATM โดยภาพรวมพบว่า วิธี Hot plate ให้ค่าเฉลี่ยคะแนนอยู่ในระดับสูงและมีความสม่ำเสมอมากกว่าวิธีเตารีด โดยเฉพาะในตัวอย่างจาก KTB และ KBANK ซึ่งมีความแตกต่างของคะแนนอย่างชัดเจน (2.8 เทียบกับ 2.4 และ 2.6 เทียบกับ 2.4 ตามลำดับ) สะท้อนถึงความสามารถของ Hot plate ในการควบคุมอุณหภูมิได้อย่างคงที่ ส่งผลให้การพัฒนาลายนิ้วมือมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่ตัวอย่างจาก SCB พบว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์เท่ากัน (2.6 ± 0.55) อย่างไรก็ตาม ในกรณีของ BAAC พบว่าวิธีเตารีดให้คะแนนสูงกว่าวิธี Hot plate อย่างชัดเจน (2.8 เทียบกับ 2.0) ซึ่งอาจสะท้อนถึงความแตกต่างขององค์ประกอบสารเคลือบที่ตอบสนองต่อความร้อนแบบกระจายได้ดีกว่า

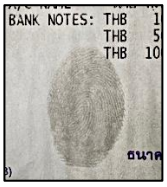
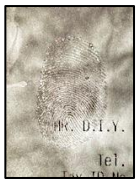
สำหรับกลุ่มใบเสร็จรับเงิน POS พบแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดยวิธี Hot plate ให้ผลลัพธ์ดีกว่าวิธีเตารีดในหลายกรณี โดยเฉพาะในตัวอย่างจาก Lotus POS ซึ่งมีความแตกต่างอย่างชัดเจน (2.2 เทียบกับ 1.2) แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาลายนิ้วมือบนกระดาษประเภทนี้ ในตัวอย่าง 7-11 POS พบว่า Hot plate ให้คะแนนสูงกว่าเล็กน้อย (2.4 เทียบกับ 2.2) ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มในกลุ่ม ATM ขณะที่ตัวอย่างจาก D.I.Y POS และ PT POS พบว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์เท่ากันในระดับสูง (3.0 และ 2.8 ตามลำดับ) ซึ่งอาจสะท้อนว่าคุณสมบัติของชั้นกระดาษที่ไวต่อความร้อนของทั้งสองชนิดเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารคัดหลั่งในลายนิ้วมือกับ Leuco dye-developer ได้ดีกว่ากระดาษชนิดอื่น ส่งผลให้ไม่เกิดความแตกต่างระหว่างวิธีหรือเกิดปรากฏการณ์ Ceiling effect

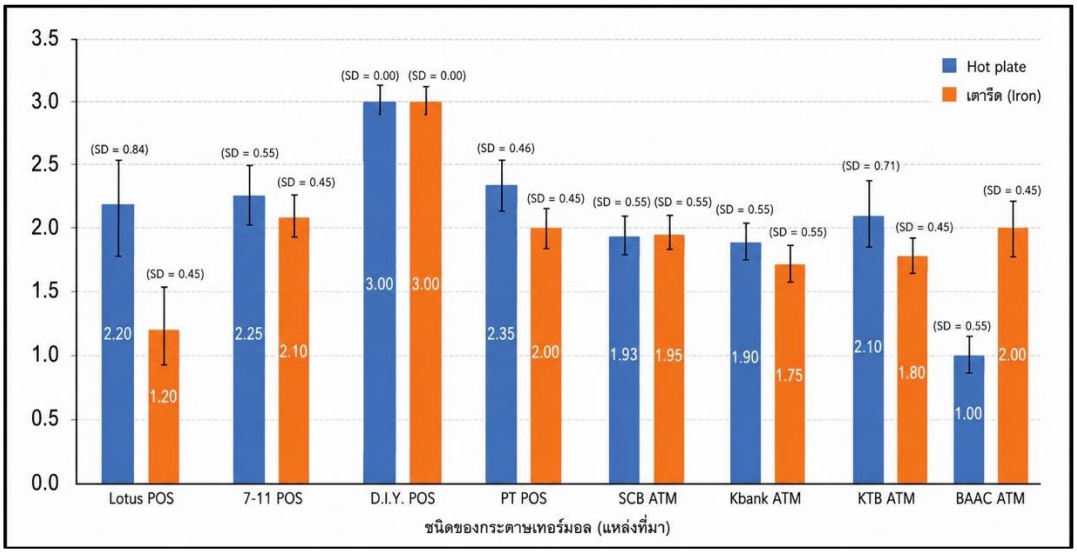
ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการให้ความร้อน และชนิดกระดาษเทอร์มอล

เพื่อประเมินปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของลายนิ้วมือแฝง การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบทั้งในด้าน วิธีการพัฒนาโดยใช้ความร้อน และ ชนิดของกระดาษเทอร์มอล (ATM และ POS) โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือและความแปรผันของข้อมูล รวมถึงการวิเคราะห์ขนาดอิทธิพล (Effect size) เพื่อสะท้อนความแตกต่างในเชิงปฏิบัติ

ผลการเปรียบเทียบโดยรวมดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งนำเสนอทั้งผลของวิธีการให้ความร้อน ได้แก่ Hot plate และเตารีด รวมถึงผลตามชนิดของกระดาษเทอร์มอล เพื่อให้สามารถพิจารณาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อคุณภาพลายนิ้วมือแฝงได้อย่างครอบคลุมและเป็นระบบ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย (± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ของคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอลประเภทสลิป ATM และบนใบเสร็จรับเงิน POS ที่พัฒนาด้วยวิธี Hot plate และเตารีด (ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญและ Chat GPT)

แหล่งตัวอย่าง	**Hot plate** $\bar{x}$ ± SD	**เตารีด** $\bar{x}$ ± SD	**แหล่งตัวอย่าง**	**Hot plate** $\bar{x}$ ± SD	**เตารีด** $\bar{x}$ ± SD
SCB ATM	 2.6 ± 0.55	2.6 ± 0.55	Lotus POS	2.2 ± 0.84	1.2 ± 0.45
Kbank ATM	2.6 ± 0.55	2.4 ± 0.55	7-11 POS	2.4 ± 0.55	2.2 ± 0.45
KTB ATM	2.8 ± 0.45	2.4 ± 0.55	D.I.Y POS	3.0 ± 0.00	 3.0 ± 0.00
BAAC ATM	2.0 ± 0.71	2.8 ± 0.45	PT POS	2.8 ± 0.45	2.8 ± 0.45



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอลประเภทสลิป ATM และ ใบเสร็จรับเงิน POS ที่พัฒนาโดยเทคนิคการให้ความร้อนแบบ Hot plate และเตารีด

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบโดยรวมของคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือแฝงตามวิธีการพัฒนาและชนิดของกระดาษเทอร์มอล

ปัจจัย	กลุ่ม	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% CI	p-value	ขนาดอิทธิพล (Cohen's d)
วิธีการพัฒนา	Hot plate	2.55 ± 0.56	2.36 – 2.74	0.32	0.26
	เตารีด	2.43 ± 0.58	2.21 – 2.65		
ชนิดกระดาษเทอร์มอล	ATM	2.53 ± 0.60	2.35 – 2.71	0.41	0.08
	POS	2.45 ± 0.74	2.22 – 2.68		

หมายเหตุ: คะแนนอยู่ในช่วง 0–3

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นผลการเปรียบเทียบทั้งในมิติของ วิธีการพัฒนาลายนิ้วมือ และ ชนิดของกระดาษเทอร์มอล อย่างชัดเจน โดยพบว่า ในด้านของวิธีการให้ความร้อน วิธี Hot plate ให้ค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือสูงกว่าวิธีเตารีดเล็กน้อย (2.55 เทียบกับ 2.43) ซึ่งสะท้อนถึงความสม่ำเสมอของผลลัพธ์ที่ดีกว่า เนื่องจาก Hot plate สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างคงที่และสม่ำเสมอมากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าขนาดอิทธิพล (Cohen's d = 0.26) พบว่าอยู่ในระดับเล็ก แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างดังกล่าวแม้มีแนวโน้ม แต่ยังไม่เด่นชัดในเชิงปฏิบัติ ในส่วนของชนิดกระดาษเทอร์มอล พบว่า กระดาษประเภท สลิป ATM ให้ค่าเฉลี่ยคะแนนสูงกว่าใบเสร็จรับเงิน POS เล็กน้อย (2.53 เทียบกับ 2.45) และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ (p = 0.41) ซึ่งบ่งชี้ว่าลายนิ้วมือที่พัฒนาบนสลิป ATM มีแนวโน้มให้คุณภาพที่สม่ำเสมอมากกว่า ทั้งนี้อาจสัมพันธ์กับองค์ประกอบของสารเคลือบ (Thermal coating) ที่แตกต่างกันระหว่างกระดาษแต่ละประเภท อย่างไรก็ตาม ค่าขนาดอิทธิพลของความแตกต่างระหว่างสลิป ATM และใบเสร็จรับเงิน POS (Cohen's d = 0.08) อยู่ในระดับต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าชนิดของกระดาษมีผลต่อคุณภาพลายนิ้วมือเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น เช่น วิธีการให้ความร้อนหรือคุณลักษณะของคราบลายนิ้วมือ

ผลการเปรียบเทียบการประเมินคุณภาพลายนิ้วมือระหว่างผู้เชี่ยวชาญและ ChatGPT

เพื่อประเมินศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ลายนิ้วมือแฝง การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลการให้คะแนนคุณภาพลายนิ้วมือระหว่างผู้เชี่ยวชาญด้านนิติวิทยาศาสตร์กับ ChatGPT ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน โดยพิจารณาทั้งในมิติของวิธีการพัฒนา ได้แก่ Hot plate และเตารีด รวมถึงแหล่งของกระดาษเทอร์มอล ผลการเปรียบเทียบเชิงรายละเอียดแสดงใน ตารางที่ 4 และการวิเคราะห์ความสอดคล้องโดยรวมแสดงใน ตารางที่ 5

ผลการเปรียบเทียบในระดับรายแหล่งพบว่า ChatGPT มีแนวโน้มให้คะแนนต่ำกว่าผู้เชี่ยวชาญเล็กน้อยในหลายกรณี โดยเฉพาะในตัวอย่างที่มีคุณภาพระดับปานกลาง ซึ่งสะท้อนถึงลักษณะการประเมินที่ค่อนข้างระมัดระวังของระบบปัญญาประดิษฐ์ ในกลุ่มสลิป ATM พบว่าตัวอย่างจาก SCB และ KBANK มีค่าคะแนนจาก ChatGPT ต่ำกว่าผู้เชี่ยวชาญอย่างสม่ำเสมอทั้งในวิธี Hot plate และเตารีด ขณะที่ตัวอย่างจาก KTB แสดงความสอดคล้องกันในวิธี Hot plate แต่มีความแตกต่างเล็กน้อยในวิธีเตารีดโดย ChatGPT ให้คะแนนสูงกว่าเล็กน้อย ในกรณีของ BAAC พบความสอดคล้องในวิธี Hot plate แต่ในวิธีเตารีด ChatGPT ให้คะแนนต่ำกว่าผู้เชี่ยวชาญ สำหรับกลุ่มใบเสร็จรับเงิน POS พบว่าโดยรวมมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับกลุ่มสลิป ATM

โดยตัวอย่างจาก Lotus POS แสดงความแตกต่างเล็กน้อยระหว่างผู้ประเมิน ขณะที่ 7-Eleven POS มีความสอดคล้องของคะแนนอย่างชัดเจนในทั้งสองวิธีการ และในกรณีของ D.I.Y POS และ PT POS พบว่าทั้งผู้เชี่ยวชาญและ ChatGPT ให้คะแนนเท่ากันในระดับสูง ซึ่งสะท้อนว่าลายนิ้วมือมีคุณภาพดีและชัดเจน ทำให้ไม่เกิดความแตกต่างในการตีความ หรืออาจเกิดปรากฏการณ์ Ceiling effect ที่คะแนนไม่สามารถเพิ่มสูงขึ้นได้อีก

เมื่อพิจารณาในภาพรวมของข้อมูลทั้งหมด พบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนเฉลี่ยสูงกว่า ChatGPT เล็กน้อย (2.49 ± 0.58 และ 2.36 ± 0.62 ตามลำดับ) อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบทางสถิติ Wilcoxon signed-rank test ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างคะแนนของทั้งสองกลุ่ม (p = 0.56) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับเล็กและไม่ส่งผลต่อข้อสรุปโดยรวม ในด้านความสอดคล้องของการประเมิน พบว่าค่า Weighted Cohen's Kappa เท่ากับ 0.62 และมีอัตราความตรงกันของการให้คะแนนถึง 75% สะท้อนว่าทั้งสองผู้ประเมินมีความสอดคล้องกันในระดับที่ยอมรับได้ทางวิชาการ

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบระดับคะแนนลายนิ้วมือแฝงระหว่างผู้เชี่ยวชาญและ ChatGPT บนกระดาษเทอร์มอล โดยใช้เทคนิคการให้ความร้อนแบบ Hot plate และเตารีด

แหล่งตัวอย่าง	คะแนน		คะแนน	
	Hot plate (ผู้เชี่ยวชาญ) $\bar{x}$ ± SD	Hot plate (ChatGPT) $\bar{x}$ ± SD	เตารีด (ผู้เชี่ยวชาญ) $\bar{x}$ ± SD	เตารีด (ChatGPT) $\bar{x}$ ± SD
SCB ATM	2.6 ± 0.55	2.4 ± 0.55	2.6 ± 0.55	2.2 ± 0.84
Kbank ATM	2.6 ± 0.55	2.4 ± 0.55	2.4 ± 0.55	1.8 ± 0.84
KTB ATM	2.8 ± 0.45	2.8 ± 0.45	2.4 ± 0.55	2.6 ± 0.55
BAAC ATM	2.0 ± 0.71	2.0 ± 0.89	2.8 ± 0.45	2.4 ± 0.89
Lotus POS	2.2 ± 0.84	2.0 ± 0.71	1.2 ± 0.45	1.4 ± 0.55
7-11 POS	2.4 ± 0.55	2.4 ± 0.55	2.2 ± 0.45	2.2 ± 0.45
D.I.Y POS	3.0 ± 0.00	3.0 ± 0.00	3.0 ± 0.00	3.0 ± 0.00
PT POS	2.8 ± 0.45	2.8 ± 0.45	2.8 ± 0.45	2.8 ± 0.45

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบคะแนนคุณภาพลายนิ้วมือแฝงและการวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผู้เชี่ยวชาญ และ ChatGPT

ตัวแปร	ค่า
ผู้เชี่ยวชาญ ($\bar{x}$ ± SD)	2.49 ± 0.58
ChatGPT ($\bar{x}$ ± SD)	2.36 ± 0.62
p-value	0.56
95% CI	0.44 – 0.77
ผลการทดสอบทางสถิติ	ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Weighted Cohen’s Kappa	0.62
ระดับความสอดคล้อง	ระดับที่ยอมรับได้ทางวิชาการ
อัตราความตรงกัน (Agreement)	75%

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า เทคนิคการให้ความร้อนมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอลเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคดั้งเดิม เช่น การใช้ผงฝุ่น, Ninhydrin หรือ DFO เนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมีเพิ่มเติม ลดความซับซ้อนของขั้นตอน และสามารถดำเนินการได้รวดเร็ว โดยการศึกษานี้พบว่าวิธี Hot plate ให้ค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพสูงกว่าวิธีเตารีดเล็กน้อย สม่ำเสมอของผลลัพธ์มากกว่า ซึ่งสามารถอธิบายได้จากความสามารถของ Hot plate ในการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อกระบวนการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่ไวต่อความร้อน เช่น กระดาษเทอร์มอล (Cantu & Johnson, 2021; Champod et al., 2016; Bleay et al., 2021)

ในเชิงกลไก กระดาษเทอร์มอลประกอบด้วยชั้นเคลือบที่ไวต่อความร้อน ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้บริเวณที่มีสารคัดหลั่งจากลายนิ้วมือ เช่น ไขมันและเหงื่อ เกิดความแตกต่างของสีและปรากฏเป็นลายนิ้วมือแฝงได้ชัดเจน (Cantu & Johnson, 2021; Ramotowski, 2012) อย่างไรก็ตาม หากอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอหรือสูงเกินไป อาจทำให้เกิด overdevelopment หรือพื้นผิวเกิดการดำคล้ำ ส่งผลให้รายละเอียดของสันลาย (ridge detail) ลดลงหรือบิดเบือน (Holder et al., 2011; Becue et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่าวิธีเตารีดมีความแปรผันของข้อมูลสูงกว่า เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างสม่ำเสมอ

แม้ว่าวิธี Hot plate จะให้ผลลัพธ์ดีกว่าในภาพรวม แต่เมื่อพิจารณาค่าขนาดอิทธิพล (Cohen's d = 0.26) พบว่าอยู่ในระดับเล็ก แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างดังกล่าวมีแนวโน้มเชิงปฏิบัติแต่ยังไม่เด่นชัด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่ระบุว่าการพัฒนาลายนิ้วมือแฝงบนกระดาษเทอร์มอลสามารถทำได้หลายวิธี และผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเฉพาะ เช่น อุณหภูมิ เวลา และลักษณะของคราบลายนิ้วมือ (Cantu & Johnson, 2021; Bleay et al., 2021)

ในด้านของ ชนิดกระดาษเทอร์มอล (ATM vs POS) ผลการศึกษาพบว่า กระดาษสลิป ATM ให้ค่าเฉลี่ยคะแนนสูงกว่าใบเสร็จรับเงิน POS เล็กน้อย และมีความสม่ำเสมอมากกว่า อย่างไรก็ตาม ขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับต่ำมาก (Cohen's d = 0.08) แสดงว่าชนิดกระดาษมีผลต่อคุณภาพลายนิ้วมือเพียงเล็กน้อย ผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากความแตกต่างขององค์ประกอบสารเคลือบ (coating composition) และความไวต่อความร้อน (thermal sensitivity) ของกระดาษแต่ละประเภท ซึ่งมีผลต่อการแสดงผลของลายนิ้วมือ (Ramotowski, 2012; Cantu & Johnson, 2021)

การเปรียบเทียบการประเมินระหว่างผู้เชี่ยวชาญและปัญญาประดิษฐ์ โดยพบว่า ChatGPT มีแนวโน้มให้คะแนนต่ำกว่าผู้เชี่ยวชาญเล็กน้อย โดยเฉพาะในลายนิ้วมือที่มีคุณภาพระดับปานกลาง ในกรณีที่ลายนิ้วมือมีคุณภาพสูง พบว่าผู้ประเมินทั้งสองให้ผลลัพธ์สอดคล้องกันอย่างชัดเจน ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสนับสนุนข้อค้นพบดังกล่าว โดยไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p= 0.56) และมีค่า Weighted Cohen's Kappa = 0.62 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางวิชาการ ตามเกณฑ์ของ Landis and Koch (1977) แสดงให้เห็นว่า ChatGPT มีความสอดคล้องกับผู้เชี่ยวชาญในระดับที่

ยอมรับได้ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุว่าการประเมินลายนิ้วมือมีความแปรผันได้แม้ในกลุ่มผู้เชี่ยวชาญเอง (Ulery et al., 2011; Dror et al., 2021)

ในบริบทของปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัยในช่วงหลังแสดงให้เห็นว่า AI โดยเฉพาะ deep learning มีศักยภาพสูงในการวิเคราะห์ภาพและรู้จำรูปแบบ (pattern recognition) รวมถึงงานด้าน biometrics เช่น ลายนิ้วมือ (He et al., 2016; Deng et al., 2019; Zhang et al., 2023a) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่ชี้ให้เห็นว่า ChatGPT สามารถทำหน้าที่เป็น เครื่องมือสนับสนุน (decision support tool) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในขั้นตอนการคัดกรองเบื้องต้น (National Institute of Justice, 2018)

อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่ยังพบในลายนิ้วมือคุณภาพปานกลางถึงต่ำ สะท้อนถึงข้อจำกัดของ AI ในการตีความรายละเอียดเชิงลึก เช่น minutiae และ ridge characteristics ซึ่งยังคงต้องอาศัยประสบการณ์และวิจารณญาณของผู้เชี่ยวชาญ (Dror et al., 2021; Champod et al., 2016) รวมถึงการนำ AI มาใช้ในกระบวนการยุติธรรมจำเป็นต้องคำนึงถึงความโปร่งใส ความสามารถในการอธิบายผลการตัดสินใจ และการกำกับดูแลโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจส่งผลต่อกระบวนการยุติธรรม

สุดท้ายการศึกษานี้ยังมีข้อจำกัด ได้แก่ จำนวนผู้ให้ลายนิ้วมือ และผู้ประเมินที่จำกัด ซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการสรุปผลในภาพรวม ดังนั้น การวิจัยในอนาคตควรเพิ่มขนาดตัวอย่างความหลากหลายของพื้นผิว และใช้ผู้ประเมินหลายคน เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ (Becue et al., 2020)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรพัฒนาแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ให้มีความเฉพาะทางด้านนิติวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น เนื่องจาก ChatGPT เป็นโมเดลทั่วไป (general-purpose AI) การฝึกด้วยข้อมูลลายนิ้วมือแฝงโดยเฉพาะจะช่วยเพิ่มความแม่นยำในการประเมิน

2. ควรศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพและเคมีของกระดาษเทอร์มอลเพิ่มเติม เช่น ชั้นเคลือบ (coating) ความไวต่อความร้อน และองค์ประกอบทางเคมี เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้อาจมีบทบาทสำคัญต่อการปรากฏของลายนิ้วมือแฝง

เอกสารอ้างอิง

ประมวลกฎหมายวิธีพิจารณาความอาญา. (2569). [มาตรา 226-227]. ราชกิจจานุเบกษา.

Becue, A., Eldridge, H., Champod, C., & Margot, P. (2020). Interpol review of fingermark detection and visualization. *Forensic Science International, 315*, 110420. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110420

Bleay, S. M., Sears, V. G., Bandey, H. L., & Gibson, A. P. (2021). Fingermark visualisation: A review of processes and techniques. *Science & Justice, 61*(1), 46–64. https://doi.org/10.1016/j.scijus.2020.09.003

Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems, 33*, 1877–1901.

Cantu, A. A., & Johnson, J. L. (2021). Thermal paper: Chemistry, imaging, and forensic challenges. *Forensic Chemistry, 23*, 100327. https://doi.org/10.1016/j.forc.2021.100327

Champod, C., Lennard, C., Margot, P., & Stoilovic, M. (2016). *Fingerprints and other ridge skin impressions* (2nd ed.). CRC Press.

Chen, H., Zhang, Y., & Wang, S. (2022). Advances in latent fingerprint detection technologies. *Forensic Science International, 337*, 111339. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111339

Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin, 70*(4), 213–220. https://doi.org/10.1037/h0026256

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Deng, J., Guo, J., Xue, N., & Zafeiriou, S. (2019). ArcFace: Additive angular margin loss for deep face recognition. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 4690–4699). https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00482

Dror, I. E., Kukucka, J., Kassin, S. M., & Zapf, P. A. (2021). Cognitive bias in forensic decision making. *Forensic Science International: Synergy, 3*, 100161. https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2021.100161

Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). Sage.

Girod, A., Ramotowski, R., & Weyermann, C. (2012). Composition of fingermark residue and its evolution. *Forensic Science International, 223*(1–3), 10–24. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.08.018

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 770–778). https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

Holder, E. H., Robinson, L. O., & Laub, J. H. (2011). *The fingerprint sourcebook*. National Institute of Justice.

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics, 33*(1), 159–174.

Liao, R., Chen, X., & Wang, Y. (2020). Thermal paper chemistry and imaging characteristics. *Journal of Imaging Science and Technology, 64*(5), 1–8.

National Institute of Justice. (2018). *Forensic science research and development reports*. U.S. Department of Justice.

OpenAI. (2023). *GPT-4 technical report*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.08774

Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D., & Sutskever, I. (2019). *Language models are unsupervised multitask learners*. OpenAI.

Ramotowski, R. S. (Ed.). (2012). *Lee and Gaensslen's advances in fingerprint technology* (3rd ed.). CRC Press.

Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence, 1*(5), 206–215. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x

Siegel, S., & Castellan, N. J. (1988). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Ulery, B. T., Hicklin, R. A., Buscaglia, J., & Roberts, M. A. (2011). Accuracy of fingerprint examiners. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 108*(19), 7733–7738. https://doi.org/10.1073/pnas.1018707108

Zhang, Q., Li, X., & Liu, Y. (2023a). AI-based fingerprint recognition: A review. *Applied Sciences, 13*(5), 2871. https://doi.org/10.3390/app13052871

Zhang, Y., Song, X., & Liu, H. (2023b). Applications of artificial intelligence in forensic science: A review. *Forensic Science International, 337*, 111302.

การลดระยะเวลากระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี RPA software ของหน่วยงานภาครัฐ

Reducing processing time in product scope assessment for electrical appliances using RPA software technology at a government agency

อภิวิชญ์ ปินตากูล[1] , ศักดิ์ชาย รักการ[2] , อัตถกร กลั่นความดี[3], วีระพัฒน์ กฤตธนาทิพย์[4]

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต[1,2,3],

หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขานโยบายสาธารณะและการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต[4]

Aphiwit Pintakoon[1], Sakchai Rakkarn[2], Attakorn Klankwamdee[3],
Veeraphat Kritthanathip[4]

Master of Engineering Program in Engineering Management, Kasem Bundit University[1,2,3]
Program on Public Policy and Management, Kasem Bundit University[4]
E-mail: apiwittisi@gmail.com[1], E-mail: sakchai.rak@kbu.th[2,3]
E-mail: veeraphat.kri@kbu.ac.th[4]

Received: March 23, 2026; Revised: May 5, 2026; Accepted: May 30, 2026

บทคัดย่อ

การพัฒนากระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าของหน่วยงานภาครัฐ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการพิจารณาในการตรวจปล่อยผลิตภัณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ผ่านระบบ National Single Window (NSW) และประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Robotic Process Automation (RPA) ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ (AI) เป็นการวิจัยเชิงทดลองแบบหนึ่งกลุ่ม วัดก่อน–หลัง โดยศึกษาคำขอจำนวน 350 รายการ พร้อมใช้ระบบ RPA, โมเดล AI สำหรับวิเคราะห์เอกสารและภาพสินค้า และแผนผัง Cause and Effect Diagram เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เมื่อทดลองใช้ระบบ RPA และ AI ระยะเวลาดำเนินงานลดลงเหลือ 2 วัน คิดเป็นร้อยละ 66.67 จากกระบวนการเดิมใช้เวลาเฉลี่ย 6 วันต่อคำขอ และมีคำขอค้างสะสมมากกว่า 500 คำขอต่อเดือน ปริมาณการประมวลผลเพิ่มจาก 355 เป็น 575 คำขอต่อวัน และคำขอค้างสะสมลดลงร้อยละ 90 ระบบมีความแม่นยำในการดึงข้อมูลจากเอกสาร PDF แบบข้อความอยู่ที่ร้อยละ 88–92 และเอกสารสแกนอยู่ที่ร้อยละ 80–85 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าโครงการมีผลตอบแทนการลงทุน (ROI) ร้อยละ 716 และระยะเวลาคืนทุน 2.2 เดือน สะท้อนว่าการใช้ RPA และ AI ช่วยยกระดับประสิทธิภาพการให้บริการภาครัฐได้อย่างเป็นรูปธรรม และสามารถเป็นต้นแบบให้หน่วยงานอื่นประยุกต์ใช้ต่อไป

คำสำคัญ: การพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบ NSW ระบบอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์ปัญญาประดิษฐ์

ABSTRACT

The research objective was to investigate the development of a product-scope assessment process for electrical appliances within a government agency to enhance assessment efficiency for customs clearance by at least 50%, reduce operational delays, identify bottleneck factors, and determine optimal stages for automation via the National Single Window (NSW) system. The proposed framework integrated Robotic Process Automation (RPA) with Artificial Intelligence (AI). Utilizing a one-group pretest–posttest experimental design, the study evaluated a dataset of 350 product applications. The methodology incorporated RPA, AI models for document and product image analysis, and a Cause-and-Effect Diagram to comprehensively analyze the root causes of operational inefficiencies. The findings revealed that after implementing RPA and AI, the processing time decreased to 2 days from 6 days per request, representing a 66.67% reduction. Processing capacity increased from 355 to 575 requests per day, while the backlog declined by 90%. The system achieved data extraction accuracy of 88–92% for text-based PDF documents and 80–85% for scanned documents. An economic feasibility analysis using Cost-Benefit Analysis (CBA) showed a Return on Investment (ROI) of 716% and a payback period of 2.2 months. The results demonstrate that the application of RPA and AI can significantly improve the efficiency of public service delivery and serve as a practical model for adoption by other government agencies.

KEYWORDS: Product scope assessment, Electrical appliances, National Single Window (NSW), Robotic Process Automation (RPA), Artificial Intelligence (AI)

บทนำ

การพัฒนาระบบราชการไทยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนสู่ “รัฐบาลดิจิทัล” (Digital Government) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความโปร่งใส และความรวดเร็วในการให้บริการประชาชนและภาคธุรกิจ ภายใต้บริบทของการแข่งขันทางเศรษฐกิจระดับโลกและการขยายตัวของการนำเข้าสินค้าอุตสาหกรรม หน่วยงานกำกับดูแลจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการทำงานให้สามารถรองรับปริมาณงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในบริบทของประเทศไทย Gerdsri และคณะ (2024) ได้พัฒนาแผนที่นำทางด้านหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ (Robotics and Automation Roadmap) สำหรับประเทศไทยภายใต้กรอบนโยบาย Thailand 4.0 ผลการวิจัยพบว่าการนำระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในภาคการผลิตและภาคบริการสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ระยะกลาง (2024–2026) ให้มุ่งสร้างโอกาสตลาดสำหรับ AI และ Industrial IoT ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในหน่วยงานภาครัฐของไทยมีความสอดคล้องกับทิศทางนโยบายระดับประเทศ ซึ่งหน่วยงานราชการหลายแห่งมีภารกิจสำคัญในการกำกับดูแลผลิตภัณฑ์ที่อยู่ภายใต้มาตรฐานภาคบังคับ

(มอก.) โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นกลุ่มสินค้าที่มีความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค การพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์เพื่อพิจารณาว่าเข้าข่ายมาตรฐานบังคับหรือไม่นั้น เป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการอนุญาตนำเข้า อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวยังคงพึ่งพาการตรวจสอบเอกสารและภาพผลิตภัณฑ์ด้วยแรงงานมนุษย์เป็นหลัก ส่งผลให้เกิดความล่าช้า โดยมีระยะเวลาเฉลี่ย 6 วันต่อคำขอ และมีคำขอค้างสะสมจำนวนมาก จากข้อมูลระบบ NSW พบว่าปริมาณคำขอเฉลี่ย 36,306 คำขอต่อเดือน โดยกองตรวจการมาตรฐาน 2 รับผิดชอบเฉลี่ย 10,669 คำขอต่อเดือน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 22.16 ในช่วงเดือน ต.ค. ปี 2567–เดือน ก.ย. ปี 2568 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปสถิติปริมาณการตรวจปล่อยลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผ่านระบบ NSW โดยเจ้าหน้าที่กองตรวจการฯ 2

ช่วงเวลา	จำนวนคำขอรวม/เดือน	กองตรวจการฯ 2 ตรวจปล่อย/เดือน
ต.ค. 2567 (เริ่มต้น)	35,534	10,218
ก.ย. 2568 (สิ้นสุด)	40,429	12,482
เฉลี่ย 12 เดือน	36,306	10,669
% เปลี่ยนแปลง	+13.76%	+22.16%

ที่มา: ผู้วิจัย.

หมายเหตุ: คำนวณจากข้อมูลระบบ NSW ที่เก็บข้อมูลระหว่างเดือน ต.ค.ปี2567 - เดือน ก.ย.ปี 2568

ปัญหาความล่าช้าดังกล่าวไม่เพียงส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการ แต่ยังสะท้อนถึงข้อจำกัดของระบบงานภาครัฐที่ยังไม่สามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีดิจิทัลได้อย่างเต็มศักยภาพ ดังนั้นการนำ RPA ร่วมกับ AI มาประยุกต์ใช้ จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการยกระดับประสิทธิภาพกระบวนการ ลดภาระงานซ้ำซ้อน และเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและประเมินผลการประยุกต์ใช้ RPA และ AI ในการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเน้นการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้านระยะเวลา ประสิทธิภาพ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเสนอเป็นต้นแบบการพัฒนากระบวนการภาครัฐด้วยเทคโนโลยีอัตโนมัติ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการพิจารณาขอบข่ายเพื่อการตรวจปล่อยผลิตภัณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50
2. เพื่อวิเคราะห์ขั้นตอนและระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อความล่าช้าในการพิจารณาเพื่อตรวจปล่อยผลิตภัณฑ์
3. เพื่อระบุขั้นตอนที่สามารถนำ RPA มาปรับใช้ได้อย่างเหมาะสมในการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ให้มีความรวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น

การทบทวนวรรณกรรม

1) งานวิจัยด้านนโยบายระบบอัตโนมัติและการเปลี่ยนผ่านสู่ภาครัฐดิจิทัล วรรณกรรมในกลุ่มนี้สะท้อนให้เห็นบริบทเชิงนโยบายที่สนับสนุนการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในหน่วยงานภาครัฐ โดย Gerdsri และคณะ (2024) เสนอ Robotics and Automation

Roadmap สำหรับประเทศไทยภายใต้กรอบ Thailand 4.0 และชี้ว่าระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์มีบทบาทต่อการเพิ่มประสิทธิภาพและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ขณะที่ OECD/ADB (2025) ชี้ว่าการพัฒนาภาครัฐดิจิทัลในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ควรมุ่งยกระดับความรวดเร็ว ความโปร่งใส และคุณภาพการให้บริการสาธารณะ ทั้งสองวรรณกรรมดังกล่าวสนับสนุนงานวิจัยนี้ในเชิงนโยบาย โดยแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ RPA ร่วมกับ AI ในกระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ผ่านระบบ NSW สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนารัฐบาลดิจิทัลและการเพิ่มประสิทธิภาพงานกำกับดูแลของภาครัฐ

2) งานวิจัยด้านศักยภาพ ข้อจำกัด และการประยุกต์ใช้ RPA ในกระบวนการทำงาน งานของ Willcocks และคณะ (2017) อธิบายว่า RPA เหมาะกับงานที่มีขั้นตอนซ้ำซากและกฎเกณฑ์ชัดเจน และสามารถลดต้นทุนกระบวนการได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ Charles และคณะ (2022) ชี้ให้เห็นว่าการผสาน RPA กับเทคนิคเชิงรู้คิดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการธุรกิจที่ต้องจัดการข้อมูลหลากหลายรูปแบบ ส่วน Flechsig และคณะ (2022) สะท้อนว่า แม้ RPA จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้ดี แต่ความพร้อมของข้อมูลและการเชื่อมต่อระบบยังเป็นข้อจำกัดสำคัญ นอกจากนี้ Gao และ Kuang (2023) พบว่า RPA สามารถสนับสนุนการวิเคราะห์ข้อมูลความเสี่ยงในงานศุลกากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในงานที่ต้องประมวลผลข้อมูลจำนวนมากภายใต้กฎระเบียบที่ชัดเจน ในบริบทของไทย ศรุต แสงสนิท และคณะ (2567) ศึกษาการบริหารจัดการอีเมลด้วยกระบวนการอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์ในภาคธุรกิจประกันภัย และชี้ว่าการนำ RPA มาใช้ช่วยลดภาระงานซ้ำซ้อน เพิ่มความรวดเร็วในการจัดการข้อมูล และทำให้กระบวนการมีความเป็นมาตรฐานมากขึ้น วรรณกรรมกลุ่มนี้จึงสนับสนุนงานวิจัยของผู้วิจัยโดยตรง ทั้งในมิติของความเหมาะสมของ RPA ต่อกระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ที่ต้องตรวจเอกสาร เปรียบเทียบข้อกำหนดมาตรฐาน และคัดแยกกรณีที่ต้องใช้ดุลยพินิจ ตลอดจนชี้ให้เห็นความจำเป็นของการผสาน AI, OCR และ NLP เพื่อรองรับเอกสารกึ่งโครงสร้างและข้อมูลภาพในบริบทจริงของระบบ NSW

3) งานวิจัยด้านการออกแบบกระบวนการและการยอมรับเทคโนโลยี แนวคิดของ Hammer และ Champy (1993) เสนอว่าการยกระดับประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีจำเป็นต้องอาศัยการออกแบบกระบวนการใหม่จากสภาพปัจจุบัน (As-Is) สู่สภาพที่พึงประสงค์ (To-Be) อย่างเป็นระบบ ขณะที่ Leno และคณะ (2020) แสดงให้เห็นว่าการเตรียมข้อมูลและกฎการตัดสินใจอย่างเป็นระบบมีความสำคัญต่อการพัฒนาแบบจำลองอัจฉริยะสำหรับงานอัตโนมัติ ส่วน Vollenberg และคณะ (2024) ชี้ว่าการยอมรับ RPA ในหน่วยงานภาครัฐขึ้นอยู่กับการรับรู้ถึงประโยชน์ ความง่ายในการใช้งาน และความเหมาะสมกับบทบาทของผู้ปฏิบัติงาน ในบริบทการปรับปรุงกระบวนการ รุ่งทิพย์ อินทวงค์ (2565) ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างสำหรับซัพพลายเออร์ และชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ขั้นตอนงานและการออกแบบกระบวนการใหม่อย่างเป็นระบบสามารถลดความสูญเปล่าและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานได้อย่างชัดเจน ข้อค้นพบเหล่านี้เชื่อมโยงกับงานวิจัยนี้อย่างชัดเจน เนื่องจากผู้วิจัยได้วิเคราะห์กระบวนการเดิมและออกแบบกระบวนการใหม่ให้ระบบอัตโนมัติรับผิดชอบการจำแนกเอกสาร การดึงข้อมูล และการเปรียบเทียบกับขอบข่ายมาตรฐานบังคับ ขณะที่เจ้าหน้าที่ยังคงทำหน้าที่ในกรณีซับซ้อน ซึ่งสอดคล้องทั้งกับแนวคิด BPR และมิติการยอมรับเทคโนโลยีในภาครัฐ

โดยสรุป วรรณกรรมทั้งสามกลุ่มข้างต้นสนับสนุนงานวิจัยนี้ในลักษณะที่เกื้อหนุนกัน กล่าวคือ งานด้านนโยบายยืนยันความจำเป็นและความสอดคล้องเชิงยุทธศาสตร์ของการนำระบบอัตโนมัติมา

ใช้ในภาครัฐ งานด้านศักยภาพของ RPA แสดงความเป็นไปได้เชิงปฏิบัติของการลดเวลา ลดภาระงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลข้อมูลเอกสาร ส่วนงานด้านการออกแบบกระบวนการและการยอมรับเทคโนโลยีอธิบายเงื่อนไขความสำเร็จของการนำระบบไปใช้จริง อย่างไรก็ตาม ยังพบช่องว่างขององค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ RPA ร่วมกับ AI ในกระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ของหน่วยงานภาครัฐไทยโดยใช้ข้อมูลจริงจากระบบ NSW งานวิจัยนี้จึงเข้ามาเติมเต็มช่องว่างดังกล่าวผ่านการประเมินผลเชิงประจักษ์ทั้งด้านระยะเวลาดำเนินงาน ปริมาณการประมวลผล คำขอค้างสะสม ความแม่นยำในการดึงข้อมูล และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเสนอแนวทางต้นแบบสำหรับการยกระดับประสิทธิภาพงานกำกับดูแลภาครัฐด้วยเทคโนโลยีอัตโนมัติ

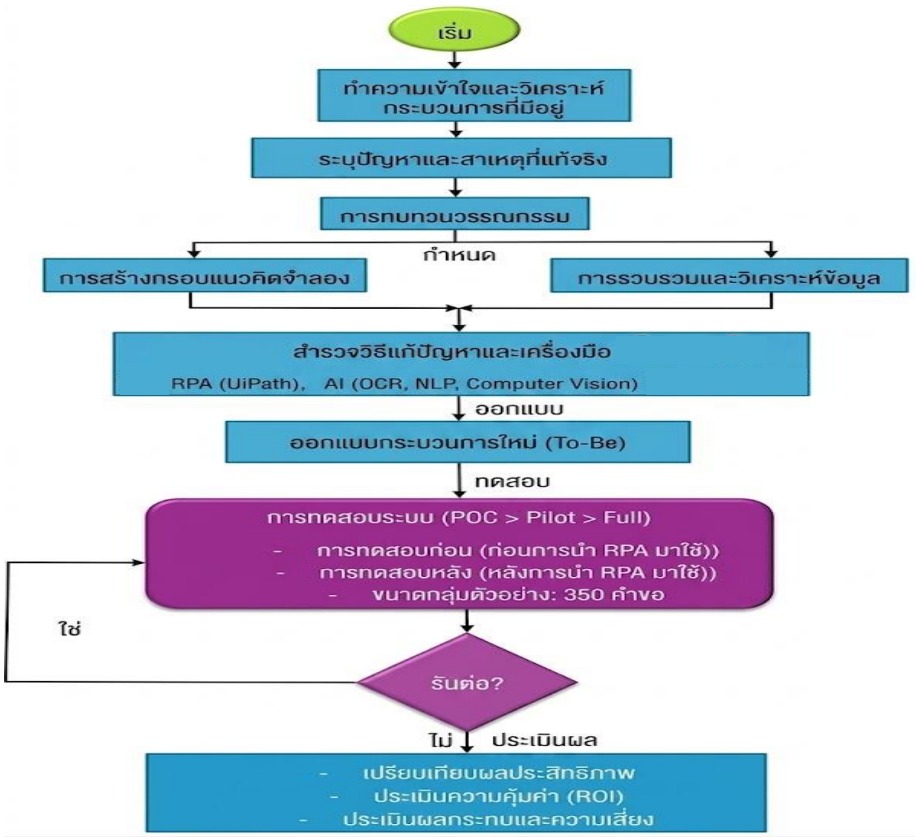
กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยแสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างการประยุกต์ใช้ RPA และ AI ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ อันนำไปสู่การลดระยะเวลาเฉลี่ยและลดจำนวนเรื่องค้างสะสมในระดับปฏิบัติการ และท้ายที่สุดส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำกับดูแลและขีดความสามารถการแข่งขันของประเทศในระดับนโยบาย ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้การทดลองแบบกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Design) รูปแบบ One-Group Pre-test/Post-test Design (หนึ่งกลุ่มวัดก่อน-หลัง) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระบวนการประเมินขอบเขตผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังการนำระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์ไปใช้ โดยเก็บข้อมูลจากระบบ NSW ระหว่างเดือน ต.ค.ปี 2567-เดือน ก.ย. ปี 2568 ตัวอย่างเป็นคำขอ 350 คำขอจากจำนวนคำขอเฉลี่ย 10,669 คำขอต่อเดือน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรคือคำขอตรวจปล่อยผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่หน่วยงานภาครัฐมีหน้าที่พิจารณา โดยมีเจ้าหน้าที่ 24 คน จัดการ 10,669 คำขอเฉลี่ยต่อเดือน ใช้การสุ่มแบบเจาะจง เลือกคำขอที่มีข้อมูลเอกสาร Invoice ข้อมูลจำเพาะ(สเปก) รูปภาพ และรหัสพิกัดศุลกากร ครบถ้วน จำนวน 350 รายการ แบ่งเป็น Pre-test 175 รายการ (Manual Process) และ Post-test 175 รายการ (RPA Process) โดยคำขอที่เลือกมาทดสอบนั้นครอบคลุมผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 53 มอก. ในช่วงการทดสอบนำร่องเป็นเวลา 1 เดือน การกำหนดขนาดตัวอย่างคำนวณโดยใช้หลัก A Priori Power Analysis สำหรับ Paired t-test (Cohen, 1988) ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 (two-tailed), Statistical Power = 0.80 และ Effect Size d = 0.5 (ขนาดกลาง) ได้ขนาดตัวอย่างขั้นต่ำ 128 คำขอต่อกลุ่ม หรือ 256 คำขอรวม ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดตัวอย่างที่ 350 คำขอ เพื่อเพิ่มอำนาจทางสถิติและรองรับกรณีเอกสารไม่สมบูรณ์อีกประมาณร้อยละ 25

ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่าง 350 คำขอที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นจำนวนที่ถูกกำหนดขึ้นตามหลักการทางสถิติเพื่อใช้ทดสอบสมมติฐานและวัดผลเปรียบเทียบก่อน-หลังการใช้ระบบเท่านั้น มิใช่ตัวแทนของปริมาณงานที่ระบบประมวลผลได้จริงต่อวัน ทั้งนี้ขีดความสามารถในการประมวลผล (Throughput) ของระบบ RPA ที่ 575 คำขอต่อวัน เป็นตัวชี้วัดที่วัดจากอัตราการประมวลผลจริงของระบบตลอดช่วง Full Implementation โดยไม่จำกัดอยู่เฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ประเมิน 5 แพลตฟอร์มหลักสำหรับดึงและบันทึกข้อมูลใบกำกับสินค้า โดยพิจารณา 5 เกณฑ์หลัก ได้แก่ ความแม่นยำในการวิเคราะห์เอกสาร ความสะดวกในการพัฒนาโดยไม่ต้องเขียนโค้ดมาก ความสามารถในการขยายระบบ การเชื่อมต่อกับ NSW API และต้นทุนรวมในการเป็นเจ้าของ

ตารางที่ 2 สังเคราะห์เกณฑ์คัดเลือกแพลตฟอร์ม RPA สำหรับการพิจารณาขอบข่าย

แพลตฟอร์ม RPA	ความแม่นยำการวิเคราะห์เอกสาร	ความเร็วประมวลผล (s)	พัฒนาแบบเขียนโค้ดน้อย	เชื่อมต่อ NSW API	ต้นทุน (License)	แหล่งอ้างอิง
UiPath StudioX *	88-92% 80-85%	3-10	√	√	ต่ำ	UiPath (2020); Ribeiro et al. (2021)
Kofax RPA	85-90%	5-15	√	-	สูง	Ribeiro et al. (2021)
Automation Anywhere	80-88%	5-20	√	บางส่วน	สูง	Ribeiro et al. (2021)
AssistEdge	75-83%	10-30	-	-	สูง	Ribeiro et al. (2021)
Automagica	70-80%	10-25	บางส่วน	-	Open Source	Ribeiro et al. (2021)

* UiPath StudioX ได้รับการคัดเลือกเนื่องจากมีความแม่นยำสูงสุด รองรับ Low-Code สามารถเชื่อมต่อ NSW API และมี Community License ที่ไม่มีค่าใช้จ่าย

ที่มา: ผู้วิจัยสังเคราะห์จาก Ribeiro et al. (2021) และ UiPath (2020) โดยคัดเลือกเกณฑ์ที่สอดคล้องกับบริบทระบบ NSW และมาตรฐาน มอก. ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า

หมายเหตุ: ค่าความแม่นยำของ UiPath StudioX อิงจากผลการทดสอบในช่วงการทดสอบนำร่องร่วมกับ UiPath Document Understanding Benchmark (UiPath, 2020) แพลตฟอร์มอื่นอ้างอิงจาก Ribeiro et al. (2021)

เหตุผลการเลือก UiPath StudioX

จากการเปรียบเทียบแพลตฟอร์ม RPA ทั้ง 5 รายการในตารางที่ 2 พบว่า UiPath StudioX มีความเหมาะสมสูงสุด เนื่องจากรองรับการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์, การจับคู่แบบประมาณ และโครงข่ายประสาทเทียมครบถ้วน มีสัญญาอนุญาตแบบชุมชน (Community License) ให้ใช้ฟรี และ Orchestrator สามารถจัดการคิวงานได้ถึง 10,669 คำขอต่อเดือน จึงเหมาะกับงานวิจัยนี้ที่ต้องการพัฒนาระบบด้วยรหัสคำสั่งน้อย (low-code) โดยไม่ต้องพึ่งการเขียนโปรแกรมขั้นสูง

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบการนำระบบอัตโนมัติไปใช้

ระยะการทดสอบ	รายละเอียด	ขนาดตัวอย่าง	ตัวชี้วัดหลัก
พิสูจน์แนวคิด	พัฒนาการออกแบบกระบวนการ RPA พื้นฐาน	n=10	ความแม่นยำของ OCR ≥ 88%, ระยะเวลาประมวลผล < 10 วินาที/คำขอ
การทดสอบนำร่องการติดตั้งเต็มรูปแบบ	ทดสอบจริงกับฐานข้อมูล NSW การปรับใช้ระบบสมบูรณ์แบบ	n=50 n=350	ลดเวลา 60%, CI 1.82-2.18 วัน ปริมาณการประมวลผล 575 คำขอ/วัน

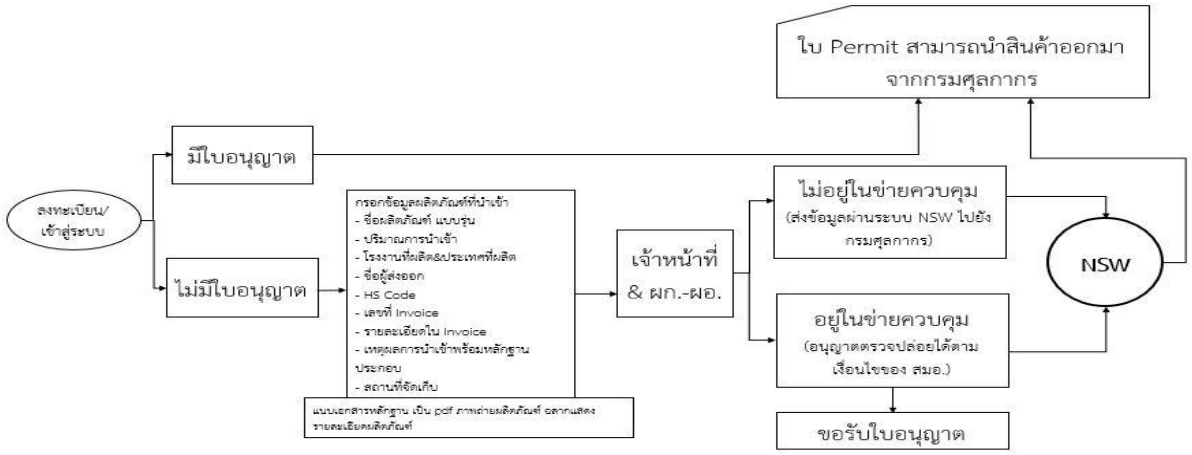
ที่มา: ผู้วิจัย.

ขั้นตอนการทำงานของระบบ

ระบบรับข้อมูลนำเข้าจากใบแจ้งราคา (Invoice) ในรูปแบบ PDF หรือภาพถ่าย จากนั้นดำเนินการ (1) จำแนกประเภทเอกสาร (2) ดึงข้อมูลด้วยการรู้จำอักขระด้วยแสง (Optical Character Recognition: OCR) และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) (3) เปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. และ (4) ส่งกรณีที่ข้อมูลไม่เพียงพอผ่าน Exception Queue ก่อนส่งรายงานอนุมัติอัตโนมัติกลับสู่ระบบ NSW ระบบทดสอบแบ่ง 3 Phase ดังแสดงในตารางที่ 3 และแสดงในรูปที่ 5 และ 6

การเก็บรวบรวมข้อมูล

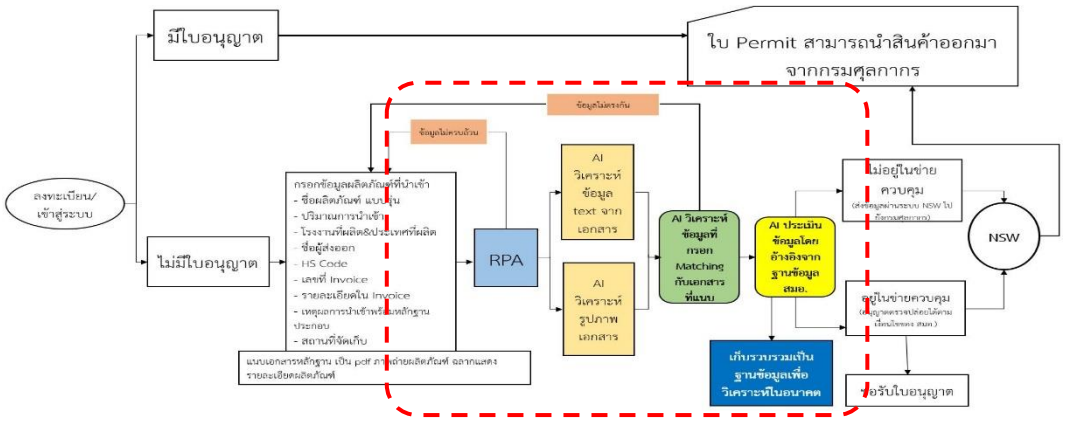
1. ระยะก่อนใช้ระบบ: บันทึกข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ ระยะเวลาประมวลผล 6 วัน คำขอค้างสะสม 500 คำขอ และปริมาณการประมวลผล 355 คำขอต่อวัน จากบันทึกระบบ NSW ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผังขั้นตอนการยื่นขอตรวจปล่อยสินค้านำเข้าก่อนการใช้ RPA

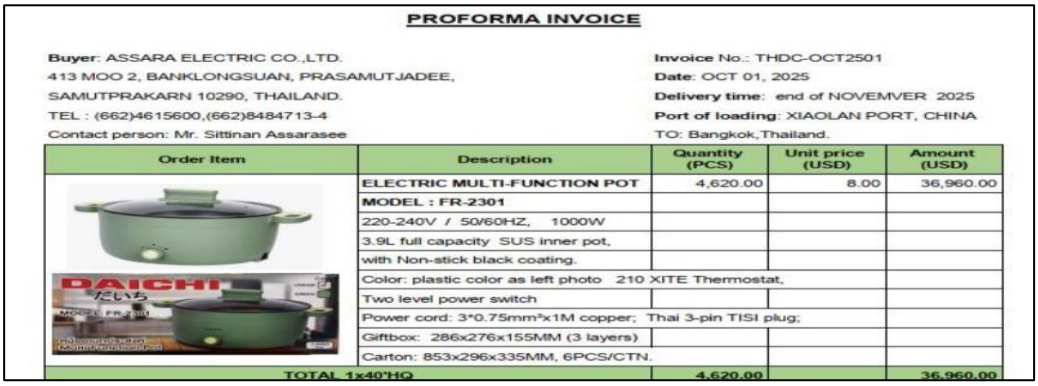
2. การพัฒนาระบบอัตโนมัติ: สร้างเอกสารออกแบบกระบวนการ (Process Design Document) วิเคราะห์กระบวนการปัจจุบัน (ทำโดยเจ้าหน้าที่) ได้แก่ การตรวจ Invoice การตรวจสอบข้อมูล

จำเพาะ (สเปก) และการตรวจสอบขอบข่าย มอก.
เพื่อออกแบบกระบวนการอัตโนมัติ (RPA
Workflow) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังขั้นตอนที่ปรับปรุงโดยการนำ RPA มาใช้เพื่อเสริมประสิทธิภาพการทำงาน

3. ระยะหลังใช้ระบบ: ติดตั้งระบบอัตโนมัติ วัดระยะเวลา 2 วัน, Backlog (คำขอค้างสะสม) 50 คำขอ, Throughput (ปริมาณการประมวลผล) 575 คำขอ/วัน



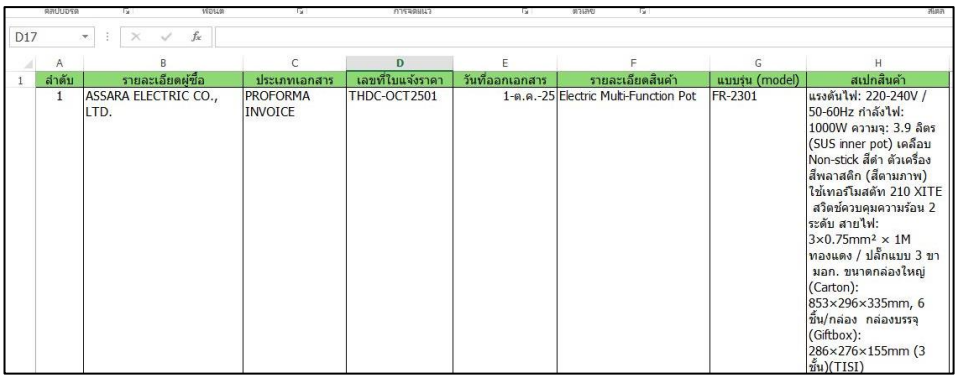
PROFORMA INVOICE

Buyer: ASSARA ELECTRIC CO.,LTD.
413 MOO 2, BANKLONGSUAN, PRASAMUTJADEE,
SAMUTPRAKARN 10290, THAILAND.
TEL : (662)4615600,(662)8484713-4
Contact person: Mr. Sittinan Assarasee

Invoice No.: THDC-OCT2501
Date: OCT 01, 2025
Delivery time: end of NOVEMVER 2025
Port of loading: XIAOLAN PORT, CHINA
TO: Bangkok,Thailand.

Order Item	Description	Quantity (PCS)	Unit price (USD)	Amount (USD)
	ELECTRIC MULTI-FUNCTION POT	4,620.00	8.00	36,960.00
	MODEL : FR-2301			
	220-240V / 50/60HZ, 1000W			
	3.9L full capacity SUS inner pot,			
	with Non-stick black coating.			
	Color: plastic color as left photo 210 XITE Thermostat,			
	Two level power switch			
	Power cord: 3*0.75mm²x1M copper; Thai 3-pin TISI plug;			
	Giftbox: 286x276x155MM (3 layers)			
	Carton: 853x296x335MM, 6PCS/CTN.			
	TOTAL 1x40'HQ	4,620.00		36,960.00

รูปที่ 5 เอกสารที่ส่งเข้ามาผ่านระบบ NSW แสดงรายละเอียดข้อมูลผลิตภัณฑ์



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ลำดับ	รายละเอียดผู้ซื้อ	ประเภทเอกสาร	เลขที่ใบแจ้งราคา	วันที่ออกเอกสาร	รายละเอียดสินค้า	แบบรุ่น (model)	สเปกสินค้า
	1	ASSARA ELECTRIC CO., LTD.	PROFORMA INVOICE	THDC-OCT2501	1-ต.ค.-25	Electric Multi-Function Pot	FR-2301	แรงดันไฟ: 220-240V / 50-60Hz กำลังไฟ: 1000W ความจุ: 3.9 ลิตร (SUS inner pot) เคลือบ Non-stick สีดำ ตัวเครื่องสีพลาสติก (สีตามภาพ) ใช้เทอร์โมสตัท 210 XITE สวิตช์ควบคุมความร้อน 2 ระดับ สายไฟ: 3×0.75mm² × 1M ทองแดง / ปลั๊กแบบ 3 ขา มอก. ขนาดกล่องใหญ่ (Carton): 853×296×335mm, 6 ชิ้น/กล่อง กล่องบรรจุ (Giftbox): 286×276×155mm (3 ชั้น)(TISI)

รูปที่ 6 ข้อมูลที่ระบบอัตโนมัติดึงออกมาได้จากเอกสารรายละเอียด

การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Mean, SD, CI 95%) และสถิติทดสอบสมมติฐาน ได้แก่ Paired t-test: (H_0: $\mu_1 = \mu_2$, α=0.05) Cohen's d Effect Size และ Z-test โดยใช้ซอฟต์แวร์ SPSS, UiPath Insights, Excel

งานวิจัยนี้เลือกใช้สถิติทดสอบ 2 ประเภทตามลักษณะของข้อมูล Paired t-test ใช้เปรียบเทียบระยะเวลาประมวลผลก่อนและหลังใช้ RPA เนื่องจากคำขอชุดเดียวกันถูกวัดสองเงื่อนไข (Dependent Samples) ทำให้ควบคุมความแปรปรวนระหว่างรายการได้ดีกว่า Independent t-test ส่วน Z-test ใช้ทดสอบสัดส่วนปริมาณการประมวลผล (Throughput) เนื่องจากตัวแปรเป็นข้อมูลเชิงสัดส่วนที่มีขนาดตัวอย่างขนาดใหญ่ (n=350) เป็นไปตามเงื่อนไขการแจกแจงปกติ

ตัวแปรที่ศึกษา

- ตัวแปรต้น: การทำงานโดยเจ้าหน้าที่และการนำระบบ RPA มาใช้ (UiPath AI: OCR Accuracy)
- ตัวแปรตาม: ระยะเวลาดำเนินการ, ปริมาณการประมวลผล คำขอค้างสะสม และความคุ้มค่าต้นทุน
- ตัวแปรควบคุม: มอก. เครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวน 53 มอก. เสถียรภาพ NSW API ความเร็วอินเตอร์เน็ต

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทางสถิติ Pre–Post Comparison

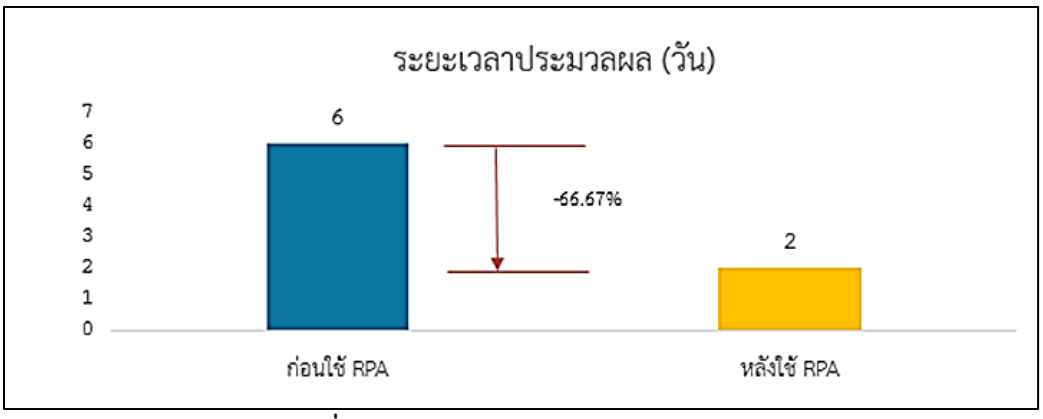
ตัวแปร	ก่อน (เฉลี่ย)	หลัง (เฉลี่ย)
ระยะเวลาพิจารณาต่อคำขอ (วัน)	6	2
ปริมาณคำขอที่ตรวจปล่อยต่อวัน (คำขอ)	355	575

ที่มา: ผู้วิจัย

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์กับคำขอ 350 คำขอจากฐานข้อมูล NSW พบว่าระบบลดระยะเวลาประมวลผลจาก 6 วันเหลือ 2 วัน (ลดลงร้อยละ 66.67) ดังรูปที่ 7 เพิ่มปริมาณการประมวลผล จาก 355 คำขอเป็น 575 คำขอ/วัน (เพิ่มร้อยละ 62.8) และลดคำขอค้างสะสม จาก 500 คำขอ เหลือ 50 คำขอ (ลดลงร้อยละ 90) โดยมีเจ้าหน้าที่ 24 คนพิจารณา 10,669 คำขอเฉลี่ยต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 4

ผลการลดระยะเวลาประมวลผล (Processing Time)ผลการทดสอบด้วย Paired t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ระยะเวลาประมวลผลเฉลี่ยลดลงจาก 6 วัน (SD = 0.5) เหลือ 2 วัน (SD = 0.5) โดยมีผลต่างเฉลี่ย 4 วัน ได้ค่า $t = 149.81$, $p < 0.001$ แสดงให้เห็นว่าการนำระบบ RPA มาใช้ช่วยลดระยะเวลาการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของค่าก่อนใช้ระบบอยู่ที่ 5.82–6.18 วัน และหลังใช้ระบบอยู่ที่ 1.82–2.18 วัน ดังแสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 7 Processing Time ก่อน-หลัง RPA

ผลการเพิ่มปริมาณการประเมินผล และลดคำขอค้าง

ปริมาณการประมวลผลเพิ่มจาก 355 เป็น 575 คำขอ/วัน (เพิ่มขึ้นร้อยละ 62.8) คำขอค้างสะสมลดจาก 500 เป็น 50 คำขอ (ลดลงร้อยละ 90) Z-test ทดสอบ H_0: $p = 0.85$ vs H_1: $p > 0.85$ พบ $z = 3.13$, $p = 0.0009$ ปฏิเสธ H_0

ระบบอัตโนมัติสามารถดึงข้อมูลจากเอกสารและจำแนกประเภทผลิตภัณฑ์ได้โดยอัตโนมัติ โดยมีความแม่นยำแตกต่างกันตามประเภทเอกสาร ทั้งนี้คำขอที่ระบบประเมินว่าข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการตัดสินใจอัตโนมัติ เช่น เอกสารคุณภาพต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่คาบเกี่ยวขอบข่ายมาตรฐาน มอก. มากกว่า 1 ฉบับ หรือเอกสารที่ขาดข้อมูลจำเพาะสำคัญ จะถูกส่งต่อให้เจ้าหน้าที่พิจารณาต่อโดยอัตโนมัติผ่าน Exception Queue ของ UiPath Orchestrator

ลักษณะของ Exception Cases และกระบวนการส่งต่อ

คำขอที่ระบบไม่สามารถประมวลผลได้อัตโนมัติจะถูกส่งต่อผ่าน Exception Queue ของ UiPath Orchestrator ซึ่งได้แก่ (1) เอกสารคุณภาพต่ำที่ OCR ไม่สามารถอ่านได้ (2) ผลิตภัณฑ์ที่คาบเกี่ยวมาตรฐาน มอก. มากกว่า 1 ฉบับ และ (3) เอกสารที่มีข้อมูลจำเพาะไม่สมบูรณ์

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาประมวลผล ก่อน-หลังการใช้ RPA

ระยะ	ระยะเวลาเฉลี่ย (วัน)	SD	CI (95%)	n
Pre-test	*6*	*0.5*	*5.82-6.18*	*175*
Post-test	*2*	*0.5*	*1.82-2.18*	*175*
%เปลี่ยนแปลง	*-66.67%*	-	*t=149.81*	-

ที่มา: ผู้วิจัย.

หมายเหตุ: ค่า SD ของทั้งสองกลุ่มถูกกำหนดจากการสังเกตความแปรปรวนของระยะเวลาประมวลผลในช่วง Pilot Test (n=50) ซึ่งพบว่าระบบมีความสม่ำเสมอสูงทั้งก่อนและหลังการใช้ RPA เนื่องจากกระบวนการตรวจปล่อยมีขั้นตอนที่กำหนดไว้ชัดเจน

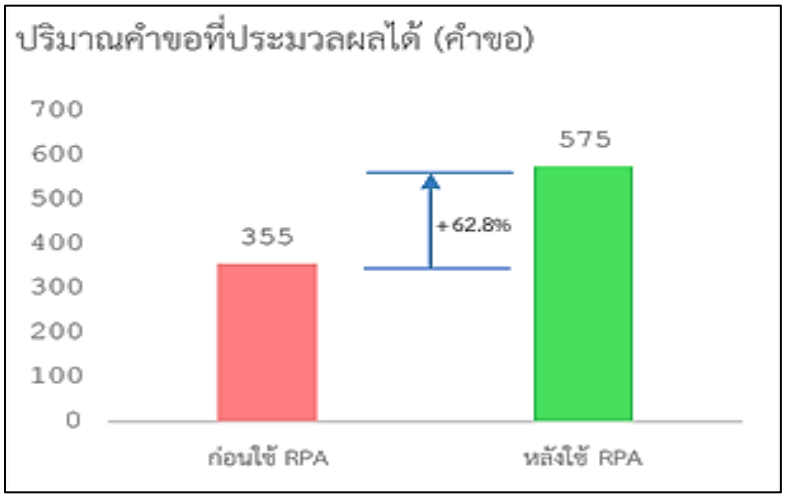
ตารางที่ 6 ผลการเปลี่ยนแปลง KPI หลัก

KPI	ก่อนใช้ RPA	หลังใช้ RPA	% เปลี่ยนแปลง	สถิติที่ใช้ทดสอบ
ระยะเวลาประมวลผล (วัน)	6	2	-66.67%	t=149.81*
จำนวนที่ประมวลผลได้ (คำขอ)	355	575	+62.8%	-
คำขอค้าง (คำขอ)	500	50	-90%	z=3.13*

ที่มา: ผู้วิจัย.

หมายเหตุ: คำนวณจาก n=350, Throughput 575 คำขอต่อวัน วัดจากขีดความสามารถสูงสุดของระบบในช่วง Full Implementation ซึ่งเป็นตัวชี้วัดคนละชุดกับกลุ่มตัวอย่าง n=350 ที่ใช้สำหรับการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

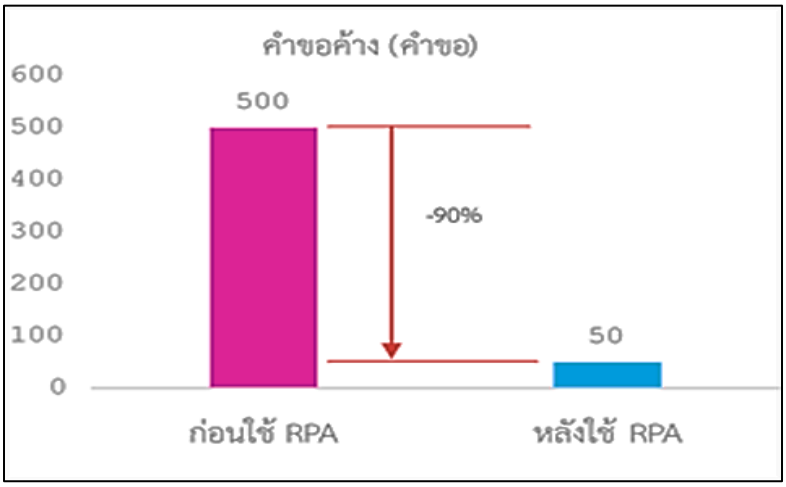
นอกจากนี้ ระบบยังมีความแม่นยำในการดึงข้อมูลจากเอกสาร PDF ที่เป็นข้อความ อยู่ที่ร้อยละ 88–92 และเอกสารสแกนอยู่ที่ร้อยละ 80–85 ตามที่แสดงในตารางที่ 7 ผลทุกตัวชี้วัดสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ว่าการนำระบบ RPA และ AI มาประยุกต์ใช้ ดังแสดงในตารางที่ 6 สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ ด้านปริมาณการประมวลผล ระบบสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจปล่อยผลิตภัณฑ์จาก 355 คำขอต่อวัน เป็น 575 คำขอต่อวัน คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 62.8 ทำให้หน่วยงานสามารถรองรับปริมาณคำขอที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มอัตรากำลังบุคลากร ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 จำนวนคำขอที่สามารถตรวจปล่อยเพิ่มขึ้นหลังใช้ RPA

ด้านคำขอค้างสะสม ระบบสามารถลดจำนวนคำขอค้างสะสมจาก 500 คำขอ เหลือเพียง 50 คำขอ คิดเป็นการลดลงร้อยละ 90 ซึ่งผ่านการทดสอบด้วย Z-test ได้ค่า $z = 3.13$ และ $p = 0.0009$ แสดงให้เห็นว่าระบบอัตโนมัติสามารถแก้ไข

ปัญหาการสะสมของงานค้างได้อย่างมีนัยสำคัญ
ดังแสดงในรูป 9



รูปที่ 9 จำนวนคำขอค้างที่ลดลงหลังใช้ RPA

ตารางที่ 7 ความแม่นยำของ AI ในการวิเคราะห์เอกสารแต่ละประเภท

เอกสารประเภท	ความแม่นยำ	ระยะเวลาประมวลผล	อัตราที่ยอมรับได้
เอกสารข้อความรูปแบบ PDF	88–92%	3-10 วินาที	5-10%
เอกสารสแกนรูปแบบ PDF	80-85%	25-60 วินาที	10-15%
ไฟล์รูปภาพ	58-63%	60-120 วินาที	35-40%

ที่มา: ผู้วิจัย.

หมายเหตุ: ตัวเลขความแม่นยำอิงจาก UiPath Document Understanding Benchmark (UiPath, 2020) และผลการทดสอบในช่วง Pilot Test (n=50)

ผลการวิจัยยืนยันว่าระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์ลดระยะเวลาดำเนินการได้ร้อยละ 66.67 (6 วัน เหลือ 2 วัน) ด้วย Paired t-test ($t = 149.81$, $p<0.001$) และ Cohen's $d=8.0$ ซึ่งบ่งชี้ผลขนาดใหญ่มาก สอดคล้อง Willcocks et al. (2017) ที่ระบุว่า RPA ลดต้นทุนลงได้ร้อยละ 30-70 ในการบันทึกข้อมูลและตรวจสอบการปฏิบัติตามกฎระเบียบ ความสำเร็จนี้มาจาก UiPath Document Understanding ที่ใช้ OCR/NLP ดึงข้อมูลใบกำกับสินค้าและรหัสพิกัดศุลกากรได้ความแม่นยำร้อยละ 88–92 สูงกว่า Flechsig et al. (2022) ที่พบอุปสรรคด้านการเชื่อมต่อระบบสารสนเทศ

ปริมาณการประมวลผลเพิ่มขึ้นร้อยละ 62.8 (355 คำขอต่อวัน เพิ่มเป็น 575 คำขอต่อวัน) และคำขอค้างสะสมลดลงร้อยละ 90 (500 คำขอ เหลือ 50 คำขอ) สอดคล้องกับ Gerdsri และคณะ (2024) ที่ระบุทิศทางการเติบโตของระบบอัตโนมัติในประเทศไทยภายใต้กรอบ Thailand 4.0 เกี่ยวกับการเติบโตของระบบอัตโนมัติเอกสารในภาครัฐดิจิทัล อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำสำหรับไฟล์ภาพถ่ายที่ร้อยละ 58–63 ต่ำ

กว่า PDF เนื่องจากระบบการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ยังต้องการข้อมูลฝึกสอนเพิ่มเติม ซึ่ง Charles O.I. และคณะ เสนอ Cognitive RPA (Charles et al., 2022: 111-119) เพื่อแก้ปัญหานี้

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ใช้วิธีต้นทุน–ผลประโยชน์ (Cost-Benefit Analysis: CBA) โดยตั้งสมมติฐานต้นทุนลงทุนเริ่มต้น 367,500 บาท เงินเดือนเฉลี่ยเจ้าหน้าที่ 25,000 บาทต่อเดือน และการประหยัดกำลังคนเทียบเท่า 2 FTE ตลอดอายุโครงการ 5 ปี คิดเป็นผลประโยชน์รายปี 600,000 บาท และผลประโยชน์สุทธิสะสม 3,000,000 บาท ผลการคำนวณพบว่าโครงการมีผลตอบแทนการลงทุน (ROI) ร้อยละ 716 และระยะเวลาคืนทุน 2.2 เดือน สะท้อนว่าการลงทุนมีความคุ้มค่าสูงและให้ผลตอบแทนดีกว่าช่วงประมาณการที่รายงานในงานก่อนหน้า

การอภิปรายผล

ผลการวิจัยที่ระบบ RPA และ AI สามารถลดระยะเวลาพิจารณาได้ร้อยละ 66.67 มีสาเหตุหลักจากการที่ระบบเข้ามารับผิดชอบสามขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดโดยอัตโนมัติ ได้แก่ การจำแนกประเภทเอกสาร การดึงข้อมูลด้วย OCR และ NLP และการเปรียบเทียบข้อมูลจำเพาะกับมาตรฐาน มอก. กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 53 ฉบับ ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถมุ่งเน้นเฉพาะกรณีที่ต้องใช้ดุลยพินิจผ่าน Exception Queue เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับ Willcocks และคณะ (2017) ที่ระบุว่า RPA สามารถลดต้นทุนกระบวนการได้ร้อยละ 30–70 โดยเฉพาะในงานที่มีลักษณะซ้ำซากและมีโครงสร้างชัดเจน

อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำสำหรับไฟล์ภาพถ่ายที่ร้อยละ 58–63 ยังต่ำกว่าเอกสารข้อความรูปแบบ PDF แบบข้อความที่ร้อยละ 88–92 อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Flechsig และคณะ (2022) ที่ชี้ว่าคุณภาพของข้อมูลนำเข้าเป็นอุปสรรคหลักของการนำ RPA มาใช้ในองค์กร สะท้อนให้เห็นว่ายังต้องการข้อมูลฝึกสอนเพิ่มเติม โดยเฉพาะภาพถ่ายสินค้าที่มีความละเอียดต่ำหรือมุมกล้องที่หลากหลาย ซึ่งเป็นลักษณะเอกสารที่พบบ่อยในระบบ NSW จริง ข้อจำกัดนี้ส่งผลให้คำขอที่แนบไฟล์ภาพถ่ายเป็นหลักต้องถูกส่งต่อผ่าน Exception Queue

ผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 716 ที่สูงกว่าที่ Sobczak (2021) ประมาณการไว้ที่ร้อยละ 200–400 นั้น เกิดจากปริมาณงานที่สูงถึง 128,022 คำขอต่อปี ประกอบกับต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นที่ต่ำเพียง 367,500 บาท ซึ่งประกอบด้วยค่าอุปกรณ์ 100,000 บาท และค่า License และบำรุงรักษา 53,500 บาทต่อปี เนื่องจากพัฒนาบนแพลตฟอร์ม Low-Code ปัจจัยทั้งสองนี้ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นเพียง 2.2 เดือน นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสนับสนุนทิศทางของ Gerdsri และคณะ (2024) และ OECD/ADB (2025) ที่ระบุว่าการนำระบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ในหน่วยงานภาครัฐของไทยมีความสอดคล้องกับนโยบายประเทศไทย 4.0 และสามารถเป็นต้นแบบสำหรับหน่วยงานกำกับดูแลอื่นได้อย่างเป็นรูปธรรม

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ประการ ดังนี้ **วัตถุประสงค์ข้อที่ 1** ระบบ RPA และ AI สามารถลดระยะเวลาเฉลี่ยจาก 6 วัน เหลือ 2 วัน คิดเป็นร้อยละ 66.67 เพิ่มปริมาณการประมวลผลร้อยละ 62.8 และลดคำขอค้างสะสมได้ร้อยละ 90 เกินกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 50 ทุกตัวชี้วัด **วัตถุประสงค์ข้อที่ 2** สาเหตุหลักของความล่าช้าเกิดจากภาระงานที่เจ้าหน้าที่ต้องตรวจสอบเอกสารเทียบกับมาตรฐาน มอก. มากกว่า 53 ฉบับด้วยตนเองในแต่ละคำขอ **วัตถุประสงค์ข้อที่ 3** ขั้นตอนที่เหมาะสมต่อการนำ RPA มาทดแทน ได้แก่ การจำแนกประเภทเอกสาร การดึงข้อมูลด้วยการรู้จำอักขระด้วยแสง (OCR) และการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP) และการเปรียบเทียบข้อมูลจำเพาะกับมาตรฐาน มอก. โดยอัตโนมัติ ส่วน

กรณีที่ซับซ้อนจะถูกส่งต่อผ่าน Exception Queue ทั้งนี้ ผลตอบแทนการลงทุน ROI ร้อยละ 716 และระยะเวลาคืนทุนเพียง 2.2 เดือน ยืนยันความคุ้มค่าของการลงทุนและศักยภาพในการเป็นต้นแบบสำหรับหน่วยงานภาครัฐอื่นภายใต้กรอบนโยบายประเทศไทย 4.0

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

1. ขยายระบบ: ติดตั้งระบบอัตโนมัติในทุกกองในหน่วยงานที่ต้องมีการพิจารณาขอบข่ายผลิตภัณฑ์และในหน่วยงานกำกับดูแลอื่น

2. พัฒนาปัญญาประดิษฐ์: ฝึกสอนโมเดลการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์เพิ่มเติมสำหรับไฟล์ ภาพถ่าย (เป้าหมายความแม่นยำ > 80%) โดยการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning)

3. พัฒนาทักษะบุคลากร: อบรมเจ้าหน้าที่ให้ชำนาญในการใช้งานระบบอัตโนมัติอย่างสม่ำเสมอ

4. บูรณาการระบบ: เชื่อมต่อ NSW API กับระบบขอบข่ายอิเล็กทรอนิกส์และระบบของหน่วยงานอื่น

ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

1. ศึกษาต่อ: การนำระบบอัตโนมัติมาใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นและการนำไปใช้ข้ามหน่วยงาน

2. พัฒนาแบบจำลองใหม่: สร้างกรอบแนวคิดผสาน TAM กับ RPA สำหรับรัฐบาลดิจิทัล 4.0 ของไทย

3. Longitudinal Study (การศึกษาตามยาว): ติดตามผลตอบแทนการลงทุนระยะ 3–5 ปีหลังติดตั้งระบบ

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่างจำกัดเฉพาะผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (53 มาตรฐาน มอก.)

2. การทดสอบนำร่องใช้เวลาเพียง 3 เดือน จำเป็นต้องติดตามเสถียรภาพระยะยาว (Long-term Stability)

3. ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของ NSW API

4. อัตราการประมวลผลอัตโนมัติและการจำแนกกรณียกเว้นอิงจากการสังเกตพฤติกรรมระบบในช่วง Pilot Test มิใช่การวัดจากข้อมูลดิบโดยตรง งานวิจัยในอนาคตควรออกแบบการบันทึก Exception Cases อย่างเป็นระบบตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ

5. ความแม่นยำสำหรับไฟล์ภาพถ่าย (ร้อยละ 58–63) ต่ำกว่าเอกสาร PDF อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโมเดล Computer Vision ได้รับการฝึกสอนด้วยชุดข้อมูลจำกัดในช่วง Pilot Test ส่งผลให้คำขอประเภทนี้ต้องผ่าน Exception Queue ในอัตราสูง

เอกสารอ้างอิง

รุ่งทิพย์ อินทวงค์. (2565). *การปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างสำหรับซัพพลายเออร์* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ศรุต แสงสนิท, นพรัตน์ ขาวหิรัญ, และสุวรรณี อัศวกุลชัย. (2567). การบริหารจัดการอีเมลด้วยกระบวนการอัตโนมัติด้วยหุ่นยนต์: กรณีศึกษา บริษัทประกันแห่งหนึ่ง. *วารสารนวัตกรรมทางธุรกิจและสังคม, 1*(2), 30–37.

Charles, O. I., Hamza, O., Eweje, A., Collins, A., Babatunde, G. O., & Ubamadu, B. C. H. (2022). Implementing robotic process automation (RPA) to streamline business processes and improve operational efficiency in enterprises. *International Journal of Social Science Exceptional Research, 1*, 111–119.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

Flechsig, C., Anslinger, F., & Lasch, R. (2022). Robotic process automation in purchasing and supply management: A multiple case study on potentials, barriers, and implementation. *Journal of Purchasing and Supply Management, 28*(1), Article 100717. https://doi.org/10.1016/j.pursup.2021.100717

Gao, Q., & Kuang, Z. (2023). Can robotic process automation technology enable risk data analysis for customs' post-clearance audit: A China Customs case study. *World Customs Journal, 17*(2), 93–104. https://doi.org/10.55596/001c.88821

Gerdsri, N., Suksiri, P., Somjaitaweeporn, T., & Sapsaman, T. (2024). Robotics and automation roadmap: Thailand perspectives. *International Journal of Automation Technology, 18*(6), 754–763.

OECD/ADB. (2025). *Government at a glance: Southeast Asia 2025*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/bc89cb32-en

Sobczak, A. (2021). Robotic process automation implementation, deployment approaches and success factors: An empirical study. *Procedia Computer Science, 192*, 238–248. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.025

UiPath. (2020). *RPA and API automation can help you do more, do it faster, and do it better*. https://www.uipath.com/platform/agentic-automation/rpa-and-api

Vollenberg, C., Hackl, J., Matthies, B., & Coners, A. (2024). Acceptance of RPA in public sector institutions. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce, 34*(4), 400–418.

Willcocks, L., Lacity, M., & Craig, A. (2017). Robotic process automation: Strategic transformation lever for global business services? *Journal of Information Technology Teaching Cases, 7*(1), 17–28. https://doi.org/10.1057/s41266-016-0016-8

ขอเชิญส่งบทความ (Call for Paper)

คณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) มีความยินดีที่จะรับผลงานทางวิชาการเพื่อนำเสนอและเผยแพร่ในวารสารวิชาการ โดยเปิดรับบทความสายวิทยาศาสตร์/เทคโนโลยี ในสาขาต่อไปนี้

1. สาขาวิชาพยาบาลศาสตร์
2. สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์
3. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
4. สาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ
5. สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ
6. สาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์
7. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
8. สาขาวิชาการเกษตร
9. สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์
10. สาขาวิชาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ประเภทของผลงานทางวิชาการ

1. บทความวิจัย หมายถึง เป็นการนำเสนอผลการวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ การดำเนินการวิจัย สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) เอกสารอ้างอิง
2. บทความวิชาการ หมายถึง งานเขียนซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ แนวทางการแก้ปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎี ผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล สรุป เช่น หนังสือ วารสารวิชาการ ฐานข้อมูล Online ประกอบการวิเคราะห์วิจารณ์ เสนอแนวทางการแก้ไข

องค์ประกอบบทความ

บทความวิจัย (Research Article)

1. ชื่อเรื่อง ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
2. ชื่อผู้นิพนธ์ พร้อมทั้งตำแหน่งทางวิชาการและสังกัด
3. บทคัดย่อทั้งภาษาไทย และภาษาอังกฤษไม่เกิน 15 บรรทัด หรือ 200 คำ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ รูปแบบการวิจัย กลุ่มตัวอย่าง ช่วงเวลาทำวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัยและสรุปผลการวิจัย ระบุคำสำคัญของเรื่อง (Keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ
4. เนื้อหาของบทความประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้

   4.1 ความสำคัญของปัญหาการวิจัย

   4.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

   4.3 ขอบเขตการวิจัย

4.4 สมมติฐานการวิจัย

4.5 การทบทวนวรรณกรรม และแนวคิด

4.6 วิธีดำเนินการวิจัย (ระบุวิธีการเก็บข้อมูล ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ปี พ.ศ. ที่ทำการวิจัย วิธีวิเคราะห์ข้อมูล)

4.7 ผลการวิจัยโดยอาจมีรูปภาพ ตารางและแผนภูมิประกอบเท่าที่จำเป็น

4.8 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

(ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ข้อเสนอแนะสำหรับปฏิบัติ และข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไป)

4.9 เอกสารอ้างอิง ต้องอ้างอิงในระบบ APA ตลอดเรื่อง

4.10 บทความที่สรุปมาจาก วิทยานิพนธ์ ดุษฎีนิพนธ์ ให้ใส่ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พร้อมตำแหน่งวิชาการและสังกัด หลังชื่อผู้นิพนธ์ รายงานการวิจัย หรือบทความวิชาการที่ปฏิบัติตามคำแนะนำ จะได้รับพิจารณาดำเนินการโดยทันที

บทความวิชาการ (Academic Article)

บทความวิชาการเป็นการนำเสนอเรื่องทางวิชาการที่อยู่ในความสนใจของบุคคลทั่วไปในปัจจุบัน ประกอบด้วย

1. ชื่อเรื่อง ชื่อผู้นิพนธ์ ที่อยู่ผู้นิพนธ์ ผู้นิพนธ์สำหรับติดต่อ (Corresponding author) และบทสรุป (Conclusion) เพื่อเป็นการสรุปเรื่องโดยย่อ พร้อมระบุความสำคัญของเรื่อง (Keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ
2. เนื้อหาของบทความ ประกอบด้วย
   2.1 บทนำ (Introduction) เพื่อกล่าวถึงความน่าสนใจของเรื่องที่นำเสนอ
   2.2 เนื้อหาเป็นการแสดงรายละเอียดของเรื่องที่เขียนในแต่ละประเด็น
   2.3 บทสรุป (Conclusion) ของเรื่องที่เขียนเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจ
   2.4 ข้อเสนอแนะจากผู้นิพนธ์เกี่ยวกับเรื่องที่เขียนในประเด็นที่น่าสนใจ

ทั้งนี้ ผู้นิพนธ์ควรตรวจสอบเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับบทความที่นำเสนออย่างละเอียด บทความวิชาการต้องนำเสนอพัฒนาการของเรื่องที่น่าสนใจ ข้อมูลที่นำเสนอจะต้องนำเสนอในวงกว้าง โดยให้ผู้อ่านในต่างสาขาทั้งอาจารย์และนักศึกษา สามารถเข้าใจได้

กระบวนการพิจารณาบทความ

บทความที่จะได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน โดยบทความจะต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวารสาร และผ่านการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง ไม่น้อยกว่า 2 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิจะไม่สามารถทราบข้อมูลของผู้ส่งบทความ (double-blind peer review)

รายละเอียดวิธีการเขียนบทความ

1. การตั้งค่าหน้ากระดาษ ให้กำหนดขอบบน 1 นิ้ว ขอบล่าง 1 นิ้ว ขอบซ้าย 1 นิ้ว และขอบขวา 1 นิ้ว
2. ตัวอักษรภาษาไทยให้ใช้ **TH SarabunPSK** ภาษาอังกฤษให้ใช้ Time New Romanโดยกำหนดขนาดดังนี้

    2.1 ชื่อเรื่องภาษาไทย ขนาด 20 point ตัวหนา ชิดซ้าย ภาษาอังกฤษ ขนาด 16 point ตัวหนาชิดซ้าย

    2.2 ชื่อผู้เขียนภาษาไทยขนาด 15 point ตัวหนา ภาษาอังกฤษ 13 point ตัวหนา

    2.3 สถานที่ทำงาน และ E-mail address ของผู้เขียน ภาษาไทย ขนาด 14 point ตัวธรรมดา ภาษาอังกฤษ 12 ตัวธรรมดา
3. ตาราง ให้วางตารางใกล้ตำแหน่งที่อ้างถึงในเนื้อหา พิมพ์ลำดับของตารางและชื่อตารางเหนือตาราง และพิมพ์ที่มาของตารางใต้ตาราง
4. ภาพประกอบ ให้วางภาพประกอบใกล้ตำแหน่งที่อ้างถึงในเนื้อหา พิมพ์ลำดับของภาพและชื่อภาพ และพิมพ์ที่มาของภาพไว้ใต้ภาพ
5. เนื้อเรื่องแบ่งออกเป็น 2 คอลัมน์/ ตาราง และภาพประกอบให้แทรกในเนื้อเรื่อง โดยจัดเป็น 1 คอลัมน์
6. ส่วนประกอบหลักในหัวข้อประเด็นต่างๆ ประกอบด้วย

บทความวิจัย	**บทความวิชาการ**
- ชื่อเรื่องภาษาไทย และภาษาอังกฤษ - ข้อมูลผู้เขียน (ชื่อ-นามสกุล/สังกัด/E-mail) - บทคัดย่อ/ABSTRACT - คำสำคัญ/KEYWORDS - บทนำ - วัตถุประสงค์ - สมมติฐาน (ถ้ามี) - ประโยชน์ที่ได้รับ - วิธีดำเนินการวิจัย (ประชากรตัวอย่าง/เครื่องมือ/การวิเคราะห์ข้อมูล) - สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล - ข้อเสนอแนะ - กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) - เอกสารอ้างอิง	- ชื่อเรื่องภาษาไทย และภาษาอังกฤษ - ข้อมูลผู้เขียน (ชื่อ-นามสกุล/สังกัด/E-mail) - บทคัดย่อ/ABSTRACT - คำสำคัญ/KEYWORDS - บทนำ - บทสรุป - ข้อเสนอแนะ - เอกสารอ้างอิง

7. การอ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนามปี (author-date in-text citation) โดยจะจัดวางไว้ข้างหน้าหรือข้างหลังข้อความที่ต้องการอ้าง เพื่อบอกแหล่งที่มาของข้อความนั้น
8. ให้รวบรวมรายการเอกสารทั้งหมดที่ผู้เขียนได้ใช้อ้างอิงในเนื้อหา รวมถึงข้อมูลในตาราง และภาพประกอบ จัดเรียงรายการตามลำดับอักษร *<u>กรณีภาษาไทย</u>* เรียงตามอักษรชื่อผู้แต่ง *<u>กรณีภาษาอังกฤษ</u>* เรียงตามอักษรนามสกุลผู้แต่ง โดยใช้รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงแบบ APA (American Psychological Association)

รูปแบบ (Template) การเขียนบทความ

ชื่อเรื่องภาษาไทย ขนาด 20 point ตัวหนา ชิดซ้าย

Tital ขนาด 20 point ตัวหนา ชิดซ้าย

ชื่อ-นามสกุล[1] , **ชื่อ-นามสกุล**[2] (ขนาด 15 point ตัวหนา)

สถานที่ทำงาน[1] , สถานที่ทำงาน[2] (ของผู้เขียน ขนาด 14 point ธรรมดา)

Firstname Lastname[1]**, Firstname Lastname**[2] (ขนาด 13 point ตัวหนา)

Affiliations[1], Affiliations[2] (ของผู้เขียน ขนาด 12 point ธรรมดา)

E-mail:[1] (ผู้เขียนคนที่ 1 ขนาด 12 point ธรรมดา)

E-mail:[2] (ผู้เขียนคนที่ 2 ขนาด 12 point ธรรมดา)

บทคัดย่อ ขนาด 16 point ตัวหนา ชิดซ้าย

บทความวิจัยและบทความวิชาการมีรูปแบบเดียวกัน และจะต้องเขียนตามข้อกำหนดการเตรียมบทความข้างล่างนี้ เพื่อความชัดเจนของบทความ ส่วนแรกของบทความคือบทคัดย่อ ความยาวหนึ่งย่อหน้า ความยาวของบทคัดย่อควรจะอยู่ระหว่าง 200 ถึง 300 คำ และไม่ควรมีการอ้างถึงเอกสารอ้างอิง ขนาด 16 point ตัวธรรมดา ชิดซ้าย

คำสำคัญ: โปรดระบุคำสำคัญ ไม่เกิน 5 คำ ไม่ต้องมีเครื่องหมายคั่นระหว่างคำ ขนาด 16 point ตัวธรรมดา ชิดซ้าย

ABSTRACT ขนาด 13 ตัวหนา ชิดซ้าย

The first section of the manuscript is to be a short single paragraph abstact outlining the aims, scope, methods, results and conclusion of the paper. Authors should aim for an abstract length of between 200 and 300 words. Abstract should not refer to the references.

KEYWORDS: โปรดระบุ KEYWORDS ไม่เกิน 5 คำ เป็นภาษาอังกฤษ ตัวธรรมดา อักษรแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค “,” ขนาด 13 point ตัวธรรมดา ชิดซ้าย

หมายเหตุ ดาวน์โหลดแบบฟอร์มได้ที่หน้าเว็บไซต์

1. รายละเอียดทั่วไป

กำหนดให้บทความมีความยาวไม่เกิน 15 หน้า ของกระดาษ A4 (รวมบทคัดย่อภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และเอกสารอ้างอิง) โดยให้ตั้งค่าหน้ากระดาษ ขอบบน 1 นิ้ว ขอบล่าง 1 นิ้ว ขอบซ้าย 1 นิ้ว และขอบขวา 1 นิ้ว

2. การเขียนตาราง

ให้วางตารางใกล้ตำแหน่งที่อ้างถึงในเนื้อหา โดยลำดับเลขของตาราง (ตัวหนา) และชื่อตาราง (ตัวธรรมดา) เหนือตารางและชิดซ้าย เช่น “**ตารางที่ 1** ...” และระบุแหล่ง “**ที่มา:** ...” ไว้ใต้ตาราง พร้อมคำอธิบายเพิ่มเติมในเนื้อหาใต้ตาราง เช่น “ดังตารางที่ 1”

ตารางที่ 1 ขนาดและลักษณะของตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์บทความ

รายการ	ขนาดตัวอักษร (point)	ลักษณะตัวอักษร
ชื่อบทความ	20	ตัวหนา ชิดซ้าย
ชื่อผู้เขียน	16	ตัวหนา ชิดซ้าย
สถานที่ติดต่อผู้เขียน/Email	15	ธรรมดา ชิดซ้าย
หัวข้อเรื่อง	16	ตัวหนา ชิดซ้าย
เนื้อเรื่อง/เนื้อความทั่วไป	16	ตัวธรรมดา ชิดซ้าย

ที่มา: ...ระบุที่มาของตาราง....

3. ภาพประกอบ

ให้วางภาพประกอบใกล้ตำแหน่งที่อ้างถึงในเนื้อหา โดยลำดับเลขของภาพ (**ตัวหนา**) และพิมพ์ชื่อภาพ (ตัวธรรมดา) “**ภาพที่ 1** .....” และระบุแหล่ง “**ที่มา:** ...” ไว้ใต้ภาพ พร้อมคำอธิบายเพิ่มเติมในเนื้อหาใต้ภาพ เช่น “ดังภาพที่ 1”

ภาพที่ 1 โลโก้สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (สสอท.)

ที่มา: สสอท. (2561)

4. การอ้างอิงในเนื้อหา

การอ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้วิธีการอ้างอิงในเนื้อหาแบบนามปี (author-date in-text citation) โดยจะจัดวางไว้ข้างหน้าหรือข้างหลังข้อความที่ต้องการอ้าง เพื่อบอกแหล่งที่มาของข้อความนั้น

4.1 ผู้เขียนมีคนเดียวหรือ 2 คน

กรณีภาษาไทย ใช้ชื่อ-นามสกุลผู้แต่งทุกคน ตามด้วยปีที่พิมพ์ พ.ศ. เช่น ฤทธิรงค์ จุฑาพฤฒิกร และ อันธิกา สวัสดิ์ศรี (2556) หรือ (ฤทธิรงค์ จุฑาพฤฒิกร และ อันธิกา สวัสดิ์ศรี, 2556)

กรณีภาษาอังกฤษ ใช้นามสกุลทุกคน ตามด้วยปีที่พิมพ์ ค.ศ. เช่น Holder and Matter (2008) หรือ (Holder & Matter, 2008)

4.2 ผู้เขียนมี 3 ถึง 5 คน

กรณีภาษาไทย - ครั้งแรก ใช้ชื่อ-นามสกุลผู้แต่งทุกคน ตามด้วยปีที่พิมพ์ พ.ศ. เช่น ชินวัฒน์ ศาสนนันท์, สัญญา สัญญาวิวัฒน์, และ โกมล ไพศาล (2556) หรือ (ชินวัฒน์ ศาสนนันท์, สัญญา สัญญาวิวัฒน์, และ โกมล ไพศาล, 2556)

- ครั้งต่อไป ใช้ชื่อ-นามสกุลผู้แต่งคนแรกตามด้วย “และคณะ” ตามด้วยปีที่พิมพ์ พ.ศ. เช่น ชินวัฒน์ ศาสนนันท์ และคณะ (2556) หรือ (ชินวัฒน์ ศาสนนันท์ และคณะ, 2556)

กรณีภาษาอังกฤษ - ครั้งแรก ใช้นามสกุลทุกคน ตามด้วยปีที่พิมพ์ ค.ศ. เช่น Martin-Consuegra, Molina, and Esteban (2007) หรือ (Martin-Consuegra, Molina, & Esteban, 2007)

- ครั้งต่อไป ใช้นามสกุลคนแรกตามด้วย “et al.” ตามด้วยปีที่พิมพ์ ค.ศ. เช่น Martin-Consuegra et al. (2007) หรือ (Martin-Consuegra et al., 2007)

4.3 ผู้เขียนมีตั้งแต่ 6 คนขึ้นไป

กรณีภาษาไทย ใช้ชื่อ-นามสกุลคนแรก ตามด้วยปีที่พิมพ์ พ.ศ. เช่น มารยาท โยทองยศ และคณะ (2560)

กรณีภาษาอังกฤษ ใช้นามสกุลคนแรกตามด้วย “et al.” ตามด้วยปีที่พิมพ์ ค.ศ. เช่น Harris et al. (2001) หรือ (Harris et al., 2001)

4.4 การอ้างอิงจาก 2 แหล่ง

กรณีภาษาไทย เรียงรายการเอกสารตามตัวอักษรและคั่นเอกสารออกด้วยเครื่องหมาย (;) เช่น (ชินวัฒน์ ศาสนนันท์, สัญญา สัญญาวิวัฒน์, และ โกมล ไพศาล, 2556; มารยาท โยทองยศ และคณะ 2560) หรือ (Harris et al., 2001; Martin-Consuegra, Molina, & Esteban, 2007)

5. เอกสารอ้างอิง

ให้รวบรวมรายการเอกสารทั้งหมดที่ผู้เขียนได้ใช้อ้างอิงในเนื้อหา รวมถึงข้อมูลในตาราง และภาพประกอบ จัดเรียงรายการตามลำดับอักษร *กรณีภาษาไทย* เรียงตามอักษรชื่อผู้แต่ง *กรณีภาษาอังกฤษ* เรียงตามอักษรนามสกุลผู้แต่ง โดยใช้รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงแบบ APA (American Psychological Association) ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิงมีดังนี้

5.1 หนังสือ

รูปแบบ: ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). *ชื่อเรื่อง* (ฉบับพิมพ์). ผู้จัดพิมพ์.

ตัวอย่าง: ปรมะ สตะเวทิน. (2546). *หลักนิเทศศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 10). ภาพพิมพ์.

5.2 บทในหนังสือ

รูปแบบ: ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), *ชื่อเรื่อง* (ฉบับพิมพ์, หน้าที่ปรากฏในบทความ). ผู้จัดพิมพ์.

ตัวอย่าง: เสรี ลีลาภัย. (2542). เศรษฐกิจชาตินิยมในประเทศกำลังพัฒนาและสถานการณ์ในประเทศไทย. ใน ณรงค์ เพ็ชรประเสริฐ (บรรณาธิการ), *1999 จุดเปลี่ยนแห่งยุคสมัย* (น. 90-141). ศูนย์ศึกษาศาสตร์การเมือง คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

5.3 บทความในวารสาร

รูปแบบ: ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. *ชื่อวารสาร, ปีที่*(ฉบับที่), เลขหน้าที่ปรากฏในบทความ.

ตัวอย่าง: ฤทธิรงค์ จุฑาพฤฒิกร, และ อันธิกา สวัสดิ์ศรี. (2556). การจัดการน้ำท่วมด้วยภูมิปัญญาท้องถิ่นในชุมชนรายได้น้อย. *วารสารนักบริหาร, 33*(4), 72-85.

5.4 วิทยานิพนธ์

รูปแบบ: ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). *ชื่อวิทยานิพนธ์* (ระดับวิทยานิพนธ์หรือปริญญานิพนธ์, ชื่อมหาวิทยาลัย).

ตัวอย่าง: เบ็ญจรัช เวชวิรัช. (2541). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อมูลค่าการให้สินเชื่อเพื่อการส่งออก และนำเข้าของสถาบันการเงินไทย* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

5.5 แหล่งสารสนเทศบนอินเทอร์เน็ต

รูปแบบ: ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. จากแหล่งที่อยู่บนอินเทอร์เน็ต

ตัวอย่าง: Holder, B. J., & Matter, G. (2008). The innovative organization. http://www.geocities.com/CollegePark/Library/1048/innova.html

5.6 เอกสารการประชุมวิชาการ

รูปแบบ: ชื่อ นามสกุลผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน *การประชุมวิชาการเรื่อง.....* (หน้าที่ปรากฏ). ผู้จัดพิมพ์.

ตัวอย่าง: จีรเดช มโนสร้อย, สุดา เสาวคนธ์, และ อภิญญา มโนสร้อย. (2543). หญ้าหวาน ใน การสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง *เทคโนโลยีชีวภาพเภสัชกรรมครั้งที่ 2 เรื่องการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อการแพทย์แผนไทย* (น. 42-50). ศูนย์วิจัยและพัฒนาวัตถุดิบยาเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ สถาบันวิจัย และพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.