

ปีที่ 25 ฉบับที่ 1 [2569] Vol.25, No.1 [2026]

มกราคม - เมษายน 2569

ISSN 2822-1508 [Online]



Approved by TCI during
2025-2029



ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย
Thai-Journal Citation Index Centre

Advisory Board

from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Professor Dr. Saowanit Sukparungsee

Professor Dr. Vilai Rungsardthong

Associate Professor Dr. Surapun Yimman

Associate Professor Dr. Pianpool Kamoljitprapa

Associate Professor Dr. Malinee Sriariyanun

Editor-in-Chief

from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Associate Professor Narumol Kreua-ongarjnukool

Editor

from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Associate Professor Dr. Nonchanutt Chudpooti

Associate Professor Dr. Sekson Sirisubtawee

Co-Editor

from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Professor Dr. Yupaporn Areepong

Assistant Professor Dr. Chatchawan Singhapol

Dr. Wannarak Nopcharoenkul

Managing Editor

from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Assistant Professor Dr. Chonnikarn Rodmorn

Assistant Professor Dr. Komthep Silpcharu

Editorial Team

from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Associate Professor Dr. Orathai Polsen

Associate Professor Dr. Suvimol Phanyaem

Associate Professor Dr. Walaiporn Prissanaroon Ouajai

Associate Professor Dr. Tanapat Anusas-amornkul

Associate Professor Dr. Sukanya Thepwatee

Assistant Professor Dr. Anusara Srisrual

Assistant Professor Dr. Theerawut Phusantisampan

Assistant Professor Dr. Jintawat Tanamatayarat

Assistant Professor Dr. Thidarat Wangkham

Assistant Professor Dr. Saowapa Thumsing Niyomthai

Editorial Board

Professor Dr. Paul Pigram

La Trobe University, Australia

Professor Dr. Melvin Pascall

The Ohio State University, USA

Editorial Board (cont.)

Professor Dr. Andrea De Gaetano

Óbuda University, Budapest, Hungary and CNR-IASI Rome and CNR-IRIB Palermo, Italy

Associate Professor Dr. Nutapong Somjit

University of Leeds, United Kingdom

Dr. Nutsuda Sumonsiri

Teesside University, United Kingdom

Professor Dr. Sergey Meleshko

Suranaree University of Technology, Thailand

Emeritus Professor Dr. Yongwimon Lenbury

Mahidol University, Thailand

Professor Dr. Sutthisak Phongthanapanich

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Professor Dr. Anuvat Sirivat

Chulalongkorn University, Thailand

Professor Dr. Supa Hannongbua

Kasetsart University, Thailand

Associate Professor Dr. Yaowadee Temtanapat

Thammasat University, Thailand

Associate Professor Dr. Khongsak Srikaeo

Pibulsongkram Rajabhat University, Thailand

Associate Professor Dr. Weeradej Meeinkuirt

Mahidol University, Thailand

Associate Professor Dr. Wararit Panichkitkosolkul

Thammasat University, Thailand

Associate Professor Dr. Montip Tiensuwan

Mahidol University, Thailand

Associate Professor Dr. Piyapatr Busababodhin

Maharakham University, Thailand

Associate Professor Dr. Wantida Chaiyana

Chiang Mai University, Thailand

Associate Professor Dr. Pranee Phinyocheep

Mahidol University, Thailand

Assistant Professor Dr. Kwan Arayathanitkul

Mahidol University, Thailand

Assistant Professor Dr. Narumon Emarat

Mahidol University, Thailand

Assistant Professor Dr. Kitiporn Plaimas

Chulalongkorn University, Thailand

Assistant Professor Dr. Chatchai Khunboa

Khon Kaen University, Thailand

Assistant Professor Dr. Julaluk Khemacheewakul

Chiang Mai University, Thailand

Assistant Professor Dr. Jutarat Iewkittayakorn

Prince of Songkla University, Thailand

Assistant Professor Dr. Yanisa Laoong-u-thai

Burapha University, Thailand

Editorial Board (cont.)

Assistant Professor Dr. Sararat Mahasaranon

Naresuan University, Thailand

Dr. Worawut Srisukkhram

Chiang Mai University, Thailand

Management Staff

from King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand

Miss Wilawan Sae-jeng

Miss Kitsiya Chuchuaysuwan

JOURNAL POLICY

Journal of Applied Science and Emerging Technology (JASET) is an academic journal published Triannually by the Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. The JASET publishes papers in four types: (1) original research articles in Thai or English, (2) academic articles in Thai or English, (3) review articles in Thai or English, and (4) editorial corner/invitation articles in English, encompassing all areas of applied science and technology. The journal will not accept articles, which have been published or are being considered for publication by another journal, nor should papers published here be submitted to other journals.

"Journal of Applied Science and Emerging Technology does not have policy to collect publication fee"

"Journal of Applied Science and Emerging Technology published both as electronic journal [ISSN 2822-1508 (Online)] available on ThaiJO system"

Scope of the Journal

To publish academic, research and review articles covering all areas of both basic and applied science and technology including pure and applied mathematics, statistics, chemistry and applied chemistry, physics and industrial physics, environmental science and technology, biotechnology, agro-industrial and food technology, medical science and applications, health and beauty technology, computer and informatic science and materials science

Peer Review Process

Each article must be double blind peer reviewed by at least 3 reviewers from the related field.

Human and Animal Ethics in Research

The authors are requested for the appropriate disclosures and declarations if their research involves human participants and animals having an impact on their right, prestige, safety, and health. Hence, they must receive approval from the appropriate ethics committees for research involving humans and/or animals and submit the evidence of approval with the manuscript. Starting from May, 1st 2022)

Language

Both Thai and English

Publication Frequency

Once every four months (Triannual)

First Issue: January to April

Second Issue: May to August

Third Issue: September to December

Remarks

Authors have to be responsible for any legal effects that may occur due to their opinions expressed in the articles.

Website for submissions: www.tci-thaijo.org/index.php/JASCI

Contact: jaset@sci.kmutnb.ac.th

Copyright©2026 by Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
All rights reserved.

No part of this publication may be reproduced stored or transmitted in any material form or by any methods including electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without the prior written permission of the publisher, except in accordance with the provisions of the Copyright Design and Patents Act 1988.

TABLE OF CONTENT

Editorial Corner (invitation article)

The Distinct Aroma Characteristics Among Commercially Cultivated World Mango Varieties

Sompoch Noichinda, Kitti Bodhipadma, and Chalermchai Wongs-Aree*.....e900008

Review Articles

A systematic Literature Review on Mobile Application Development for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD)

Hana Samah, Anas Tawalbeh, and Fauzan Mapa*.....e265621

Random Forest Algorithm Applications in Studying Children Under-five: Systematic Literature Review (SLR)

*Maroning Useng, Sahidan Abdulmana, and Anas Tawalbeh**.....e265307

Research Articles

Greenhouse Gas Emission Assessment of Bottom Ash Block, Hemp and Pineapple Fibers Concrete Blocks

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตเถ้าหนักและบล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยกล้วยและเส้นใยสับปะรด

Maneerat Khemkhao, Keattisak Kongkeaw, Pimporn Aphichatabut, Apisedkorn Suwansaard,**and Vichai Domrongpakkaphan*.....e263964

Neuroprotective Potential of CBD and Terpenes from Cannabis sativa L. (Hang Kra Rog Phu Phan ST1)

on the Potentiation or Antagonism of Amyloid- β_{1-42} -Induced Apoptosis in SH-SY5Y Neuroblastoma Cellsผลของ CBD และสารในกลุ่ม Terpene จากกัญชาสายพันธุ์ Cannabis sativa L. (Hang Kra Rog Phu Phan ST1) ต่อการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์ในการลดอัตราการตายของเซลล์ SH-SY5Y ที่เกิดจาก Amyloid- β_{1-42} *Pathomporn Eamjai, Nuntachai Hanpramukkun, and Chatchawan Singhapol**.....e264081

Satisfaction Study Using Online Teaching Aids of Faculty Members in the Department of Agro-industrial, Food and Environment Technology

การศึกษาความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ ของคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร สิ่งแวดล้อม

*Jirawan Bowornwongsathien**.....e264671

The Distinct Aroma Characteristics Among Commercially Cultivated World Mango Varieties

Sompoch Noichinda^{1*}, Kitti Bodhipadma¹, and Chalermchai Wongs-Aree^{2,3}

¹Department of Agro-Industrial, Food, and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand

²Division of Postharvest Technology, School of Bioresources and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10150, Thailand

³Postharvest Technology Innovation Center, Science, Research and Innovation Promotion and Utilization Division, Office of the Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, Bangkok 10400, Thailand

* Corresponding Author, E-mail: sompoch.n@sci.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.001

Received 26 April 2026; **Revised** 28 April 2026; **Accepted** 29 April 2026

ABSTRACT

Mango ranks among the most widely consumed tropical fruits worldwide, following bananas, oranges, and pineapples. At present, more than 1,000 mango cultivars have been identified; however, only a limited number are cultivated on a commercial scale in the global market. Prominent examples include 'Alphonso' (India), 'Carabao' (the Philippines), 'Irwin' and 'Kent' (United States), 'Kensington Pride' (Australia), and 'Nam Dok Mai' (Thailand). These cultivars are generally characterized by a balanced sweet-sour flavor profile and relatively low fiber content, although such traits are not unique to them and can also be observed in other varieties. Consequently, distinct aroma attributes are likely a key determinant of consumer preference, as discussed in this review.

KEYWORDS: Ester, *Mangifera indica*, Polyembryony, Terpene

Fruits constitute a fundamental component of the human diet, ranking just after cereal crops in terms of global importance. Widely consumed fruits can generally be classified by their growing environments into temperate species such as apples and pears, and tropical species, including bananas, oranges, pineapples, and mangoes. With advances in cultivation practices, fruit production has expanded across diverse agroecological regions worldwide.

This report focuses on mango (*Mangifera indica* L.), a species extensively cultivated at multiple scales, ranging from small household gardens to intensive commercial plantations. Mango belongs to *Mangifera*, a genus comprising approximately 30 species within the family Anacardiaceae, widely recognized as the mango family. Several species within this genus yield edible fruit; however, the majority of cultivated trees commercially recognized as mangoes are attributed to *M. indica*. The remaining edible *Mangifera* species, which produce fruit of comparatively inferior quality, are collectively referred to as wild mangoes (Derese et al., 2017).

A key challenge in commercial mango production lies in varietal selection. In Thailand alone, more than 100 mango cultivars have been reported; however, only a limited number are commercially promoted, including ‘Nam Dok Mai’, ‘Kiew Sawoe’, ‘Nang Klang Wan’, ‘Maha Chanok’, and ‘Ok Rong’. Among these, ‘Nam Dok Mai’ is the predominant cultivar in export markets.

Globally, mango diversity exceeds 1,000 cultivars, yet only a small subset has achieved international commercial significance. Prominent examples include ‘Alphonso’ (India), ‘Carabao’ (the Philippines), ‘Irwin’ (USA), ‘Kent’ (USA), ‘Kensington Pride’ (Australia), and ‘Nam Dok Mai’ (Thailand). The successful penetration of these cultivars into

global markets suggests that they meet widely accepted consumer quality standards.

A critical determinant of mango marketability is fruit quality, particularly sensory attributes encompassing flavor, defined as the integration of taste and aroma. For instance, the Thai cultivar ‘Nam Dok Mai’ is characterized by a distinctive fragrance reminiscent of citrus and floral notes, combined with a balanced sweet–sour taste profile. Interestingly, this profile differs from local consumer preferences in Thailand, where ‘Ok Rong’—noted for its higher sweetness, lower aromatic intensity, and greater fiber content—is often favored.

These observations suggest that international consumers tend to prefer mangoes with a harmonious balance of sweetness and acidity, accompanied by low fiber content—traits shared across several globally traded cultivars. Nevertheless, the continued popularity of cultivars such as ‘Alphonso’, ‘Carabao’, ‘Irwin’, ‘Kent’, ‘Kensington Pride’, and ‘Nam Dok Mai’ indicates that aroma characteristics likely play a pivotal role in shaping consumer acceptance and preference in the global marketplace.

From a reproductive standpoint, mango cultivars are broadly categorized into two distinct groups according to their embryonic characteristics. Monoembryonic cultivars possess a single zygotic embryo and are predominantly associated with Indian and Burmese germplasm, whereas polyembryonic cultivars harbor multiple embryos that are largely nucellar in origin, a trait characteristic of Philippine and Southeast Asian types. In terms of seedling development, monoembryonic seeds give rise to a single offspring that is genetically distinct from either parent, while polyembryonic seeds simultaneously

Table 1 Flavor components of various commercially cultivated world mango varieties.

Cultivar name	Origin	Embryonic development	Taste		Major aroma components		Ref
			Sweet	Sour	Terpene	Ester	
'Alphonso'	India	Monoembryonic	++	++	β -Ocimene Linalool	Ethyl butanoate Ethyl hexanoate	1, 2
'Carabao'	The Philippines	Polyembryonic	+++	+++	α -Pinene Δ^3 -Carene γ -Terpinene α -Terpinolene Cadinene	Ethyl (Z)-5-octenoate	3, 4
'Irwin'	USA	Monoembryonic	++	+	α -Terpinolene δ -3-Carene	(Z)-3-hexen-1-yl acetate	4
'Kensington Pride'	Australia	Polyembryonic	++	++	α -Terpinolene	Ethyl butanoate Ethyl octanoate	5, 6
'Kent'	USA	Monoembryonic	++	++	Limonene α -Terpinolene	Violaxanthin dibutyrate	7
'Maha Chanok'	Thailand	Polyembryonic	++	++	α -Terpinolene δ -3-Carene Limonene	Ethyl butanoate Ethyl 3-methylbutanoate	8
'Nam Dok Mai'	Thailand	Polyembryonic	+++	++	β -Ocimene δ -3-Carene <i>O</i> -Cymene Caryophyllene Humulene Germacrene D	Not detected	9,10

References: 1. Idstein and Schreier (1985); 2. Kulkarni et al. (2012); 3. Naef et al. (2006); 4. Kuroki et al. (2021); 5. Lalel et al., (2003); 6. MacLeod et al. (1988); 7. Bonneau et al. (2016); 8. Laohaprasit et al. (2012); 9. Laohaprasit et al. (2011) 10. Tunsakul et al. (2021)

generate numerous seedlings, the majority of which are genetically identical to the mother plant –a property that makes them particularly well-suited for producing uniform rootstock populations. The two groups also differ markedly in their climatic adaptability. Monoembryonic cultivars demonstrate comparatively greater resilience to low-temperature conditions with respect to both vegetative growth and fruit set, whereas polyembryonic cultivars require warmer thermal regimes and exhibit heightened sensitivity to cool weather during critical reproductive stages. Prominent monoembryonic varieties in commercial production include 'Kent', and 'Irwin', while 'Nam Dok Mai' and 'Carabao' represent widely cultivated examples among polyembryonic types (Meurant et al., 1999; Ochoa et al., 2012; Ali et al., 2025).

Mango ranks among the most commercially significant tropical fruits globally, prized by consumers for its distinctive balance of sweetness and acidity, complemented by a characteristic aromatic profile. At full maturity, the fruit – typically medium in size– develops vivid yellow-orange pigmentation in both the peel and mesocarp, traits that substantially influence its market appeal and export value. To broaden our understanding of intraspecific diversity among elite commercial cultivars, the present review systematically characterizes information on two fundamental biological attributes: embryo type (monoembryonic versus polyembryonic) and volatile organic compound (VOC) composition. A comparative assessment of these parameters across globally traded mango varieties is presented in Table 1.

Among the monoembryonic cultivars examined, ‘Alphonso’, ‘Irwin’, and ‘Kent’ share a common volatile profile dominated by two principal chemical classes: terpenoids and esters. In ‘Alphonso’, the aroma complexity arises from the interplay of β -ocimene – a monoterpene responsible for fresh green nuances – with linalool, a terpenoid alcohol contributing distinct floral character, alongside the fruity ester fraction comprising ethyl butanoate (pineapple-like note) and ethyl hexanoate (reminiscent of fresh apple). The volatile profile of ‘Irwin’ is notably differentiated by α -terpinolene, imparting a resinous, pine-like quality, in combination with δ -3-carene, which confers an earthy undertone, and (Z)-3-hexen-1-yl acetate, associated with a crisp green apple character. In contrast, ‘Kent’ exhibits a comparatively simpler terpene-dominant bouquet, wherein limonene contributes citrus-orange nuances while α -terpinolene again provides a characteristic piney note, suggesting that this compound may serve as a shared aromatic marker across certain monoembryonic genotypes.

Within the polyembryonic cultivar group – which includes ‘Carabao’, ‘Kensington Pride’, ‘Nam Dok Mai’, and ‘Maha Chanok’ – two varieties have attained particularly widespread consumer acceptance across Asian markets: ‘Carabao’, originating from the Philippines, and ‘Nam Dok Mai’, a premium Thai cultivar. Despite sharing broadly comparable fruit morphology and external coloration, these two cultivars diverge substantially in their volatile composition and resulting aromatic profiles. The aroma of ‘Carabao’ is governed by a terpenoid–ester synergy, in which α -pinene and α -terpinolene collectively generate a resinous, pine-like character, γ -terpinene contributes a fresh citrus-lime quality, and an octanoate ester herbaceous green nuances and *p*-cymene providing

a lime-like freshness; notably, ester compounds are entirely absent from ‘Nam Dok Mai’ cultivar's volatile fraction, representing a chemotypic distinction that clearly differentiates it from its Philippine counterpart. The remaining two polyembryonic cultivars exhibit equally distinctive aromatic signatures. ‘Maha Chanok’, another commercially prominent Thai variety with a well-established presence in the Japanese export market, presents a terpene-dominant fragrance at the pre-ripe stage, wherein α -terpinolene confers a characteristic resinous, pine quality and limonene contributes bright citrus notes. Upon reaching full maturity, however, the volatile profile undergoes a marked compositional shift toward ester predominance, with ethyl butanoate and ethyl 3-methylbutanoate collectively generating a pronounced pineapple-like aroma – a ripening-associated transition that may hold practical relevance as a non-destructive maturity indicator. Similarly, ‘Kensington Pride’, a leading Australian export cultivar, is defined by a terpenoid–ester mosaic in which α -terpinolene again provides the foundational piney character, while ethyl butanoate introduces tropical pineapple nuances and ethyl octanoate imparts a distinctive peach-like facet, yielding a multi-layered aromatic complexity that likely underpins its strong international market performance. Terpenes are synthesized during mango fruit development, with their accumulation progressively increasing as the fruit advances toward maturity and ripening. These compounds are widely recognized as the primary contributors to the characteristic aroma of mango (MacLeod et al., 1988; Pandit et al., 2009). Notably, the composition of terpene compounds varies

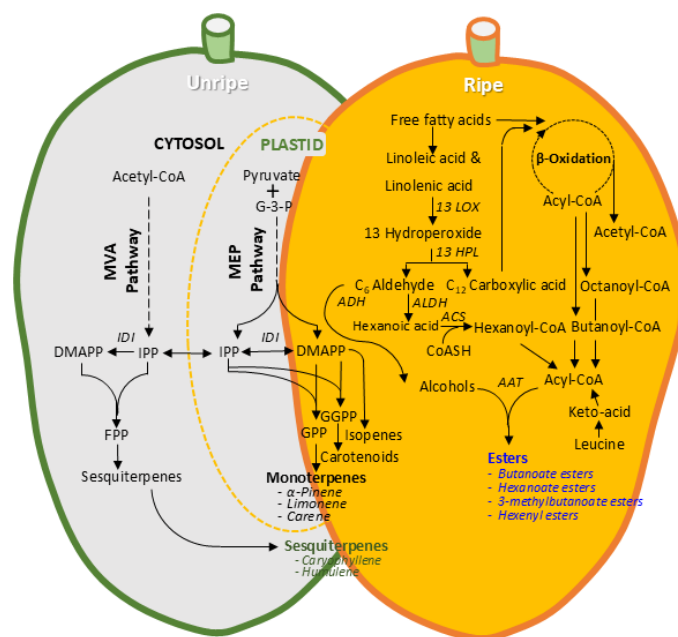


Figure 1 Putative pathways of terpenoid and ester biosyntheses in mangoes: 13-HPL (13-Hydroperoxidase lyase), 13-LOX (13-Lipoxygenase), AAT (Alcohol acyltransferase), ACS (Acyl-CoA synthase), ADH (Alcohol dehydrogenase), ALDH (Aldehyde dehydrogenase), DMAPP (Dimethylallyl diphosphate), FPP (Farnesyl diphosphate G-3-P (Glyceraldehyde-3-phosphate), GGPP (Geranyl geranyl diphosphate), GPP (Geranyl diphosphate), IDI (Isopentenyl-diphosphate delta-isomerase), and IPP (Isopentenyl diphosphate).

across different ripening stages. For instance, in ‘Kensington Pride’, limonene and *p*-cymene are predominantly present during the pre-climacteric phase, whereas α -terpinolene (a monoterpene) becomes more prominent during the climacteric stage. In addition, ester compounds such as ethyl octanoate are mainly detected at the fully ripe stage (Lalel et al., 2003).

In ‘Alphonso’, the volatile profile is dominated by mono- and sesquiterpenes, with Z- and E-ocimene identified as the principal constituents (Idstein and Schreier, 1985). In addition, compounds such as pentanoic acid and 5-hydroxy-2,4-di-tert-butylphenyl esters have also been reported (Tandel et al., 2023). A distinct lactonic note, attributed to 2,5-dimethyl-4-methoxy-3[2H]-furanone, has also been detected in ‘Alphonso’ (Hunter et al., 1974).

By contrast, the aroma profile of ‘Carabao’ is largely characterized by terpenoid compounds, including α -pinene, Δ^3 -carene, γ -terpinene, α -terpinolene, and cadinene, alongside ester groups such as

hexanoate and octanoate derivatives. This cultivar also exhibits a characteristic sulfurous nuance, primarily associated with the presence of 2-propanethiol (Naef et al., 2006). However, even within the same cultivar, aroma composition can vary depending on the country of cultivation, reflecting the strong influence of environmental factors such as climate and soil conditions on volatile compound expression (Kulkarni et al., 2012).

From a physio-biochemical perspective, monoterpenes are synthesized within plastids through the methylerythritol phosphate (MEP) pathway, utilizing pyruvate and glyceraldehyde-3-phosphate (G-3-P) as primary precursors (Figure 1). In contrast, sesquiterpenes are produced in the cytosol via the mevalonate (MVA) pathway, where acetyl-CoA serves as the initial substrate. Meanwhile, the majority of ester compounds identified in mango are short-chain esters, which originate predominantly from intermediates generated during fatty acid catabolism.

REFERENCES

- Ali, G. S., Eltaher, S., Li, J., Freeman, B., & Singh, S. (2025). GWAS identifies a polyembryony locus in mango: development of KASP and PACE markers for marker-assisted breeding. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1508027. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1508027>
- Bonneau, A., Boulanger, R., Lebrun, M., Maraval, I., & Gunata, Z. (2016). Aroma compounds in fresh and dried mango fruit (*Mangifera indica* L. cv. Kent): impact of drying on volatile composition. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(3), 789–800. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13038>
- Dereese, S., Guantai, E. M., Souaibou, Y., & Kuete, V. (2017). *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae). In V. Kuete (Ed.), *Medicinal Spices and Vegetables from Africa*. pp. 451–483. London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809286-6.00021-2>
- Hunter, G. L. K., Bucek, W. A., & Radford, T. (1974). Volatile components of canned Alphonso mango. *Journal of Food Science*, 39(5), 900–903. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb07271.x>
- Idstein, H., & Schreier, P. (1985). Volatile constituents of Alphonso mango (*Mangifera indica*). *Phytochemistry*, 24(10), 2313–2316. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83033-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83033-2)
- Kulkarni, R. S., Chidley, H. G., Pujari, K. H., Giri, A. P., & Gupta, V. S. (2012). Geographic variation in the flavour volatiles of Alphonso mango. *Food Chemistry*, 130(1), 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.053>
- Kuroki, R., Sakano, R., Hattori, S., & Morishita, S. (2021). Comparing odor-active compounds in three mango (*Mangifera indica* L.) cultivars by aroma extract dilution analysis and the method for evaluating odor interactions. *Food Science and Technology Research*, 27(1), 103–109. <https://doi.org/10.3136/fstr.27.103>
- Lalel, H. J. D., Singh, Z., & Tan, S. C. (2003). Aroma volatiles production during fruit ripening of 'Kensington Pride' mango. *Postharvest Biology and Technology*, 27(3), 323–336. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00117-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00117-5)
- Laohaprasit, N., Ambadipudi, D. S., & Srzednicki, G. (2011). Optimisation of extraction conditions of volatile compounds in 'Nam Dok Mai' mangoes. *International Food Research Journal*, 18(3), 1043–1049.
- Laohaprasit, N., Kukreja, R. K., & Arunrat, A. (2012). Extraction of volatile compounds from 'Nam Dok Mai' and 'Maha Chanok' mangoes. *International Food Research Journal*, 19(4), 1445–1448.
- MacLeod, A. J., MacLeod, G., & Snyder, C. H. (1988). Volatile aroma constituents of mango (cv Kensington). *Phytochemistry*, 27(7), 2189–2193. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(88\)80124-9](https://doi.org/10.1016/0031-9422(88)80124-9)
- Meurant, N., Holmes, R., MacLeod, N., Fullelove, G., & Bally, Ian. (1999). *Mango Information Kit (Key Issues Section)*. 1st ed., Queensland: Department of Primary Industries, Queensland Horticulture Institute. pp.1–71.
- Naef, R., Velluz, A., & Jaquier, A. (2006). The perfume of carabao mangoes (*Mangifera indica* L.): Identification of uncommon unsaturated fatty acid esters in the SPME of the intact fruit. *European Food Research and Technology*, 222(5–6), 554–558. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0132-9>
- Ochoa, E. D. C. M., Andrade-Rodríguez, M., Rodríguez, M. R., & Monter, A. V. (2012). Identification of zygotic and nucellar seedlings in polyembryonic mango cultivars. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(11), 1629–1636. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012001100010>
- Pandit, S. S., Chidley, H. G., Kulkarni, R. S., Pujari, K. H., Giri, A. P., & Gupta, V. S. (2009). Cultivar relationships in mango based on fruit volatiles profiles. *Food Chemistry*, 114(1), 363–372. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.107>
- Tandel, J., Tandel, Y., Kapadia, C., Singh, S., Gandhi, K., Datta, R., Singh, S., & Yirgu, A. (2023). Nontargeted metabolite profiling of the most prominent Indian mango (*Mangifera indica* L.) cultivars using different extraction methods. *ACS Omega*, 8(43), 40184–40205. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c03670>
- Tunsakul, T., Noichinda, S., Bodhipadma, K., Rutatip, S., & Wongs-Aree, C. (2021). Differences in terpenes from 3 cultivars of Nam Dok Mai mango. *Agricultural Science Journal*, 52(1)(Suppl.), 233–236.

A systematic Literature Review on Mobile Application Development for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD)

Hana Samah^{1*}, Anas Tawalbeh¹, and Fauzan Mapa¹

¹ Faculty of Science and Technology, Fatoni University, Pattani, 94160, Thailand.

* Corresponding Author, E-mail: hana.samoh948@gmail.com DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.002

Received 8 January 2026; **Revised** 13 April 2026; **Accepted** 20 April 2026

ABSTRACT

Mobile applications are increasingly used to support children with autism spectrum disorder (ASD). This systematic literature review analyzed studies published between 2018 and 2025 on mobile app development for children with ASD. Using PRISMA guidelines, 78 records were identified from Scopus and IEEE Xplore databases, and 15 met the inclusion criteria. Study quality was evaluated using the CASP checklist, with 47% (7/15) achieving high quality scores. The findings showed geographic diversity, with many studies conducted in Asia, and varied methodological quality. Several design approaches were used, including User-Centered Design, Applied Behavior Analysis, TEACCH, gamification, and artificial intelligence. Intervention-based studies reported positive outcomes in communication, emotional regulation, daily living skills, and user engagement. However, many studies relied on small sample sizes and short testing periods, limiting generalizability. Applications combining multiple therapeutic and design approaches demonstrated higher usability and effectiveness than single-method systems, with usability scores reaching up to 97/100. This review provides evidence-based guidance for researchers, developers, and clinicians working to advance mobile interventions for children with ASD.

KEYWORDS: Autism Spectrum Disorder (ASD), Mobile Applications Development, Early Intervention, Assistive Technology, User-Centered Design (UCD).

1. INTRODUCTION

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition characterized by persistent deficits in social communication and social interaction, alongside restricted and repetitive patterns of behavior, interests, or activities (American Psychiatric Association, 2013). Recent epidemiological estimates indicate that approximately 1 in 36 children are diagnosed with ASD (Maenner et al., 2023), while national data from Thailand suggest a prevalence of around 15 per 1,000 children under the age of 15 (Deeon, 2025). Because ASD is a spectrum disorder, children can have very different symptoms and needs. Some children need only a little support, while others need much more help. The DSM-5 delineates three severity levels: Level 1 (requiring support), characterized by difficulties initiating social interactions and inflexibility in behavior; Level 2 (requiring substantial support), marked by notable deficits in verbal and nonverbal communication; and Level 3 (requiring very substantial support), defined by severe impairments in communication and highly restricted, repetitive behaviors (American Psychiatric Association, 2013). Early intervention is widely recognized as a critical determinant of long-term outcomes, with evidence indicating that intervention during early developmental periods particularly between ages 2 and 6 can significantly enhance language development, social interaction, and daily living skills.

In recent years, mobile technologies have emerged as promising tools for supporting children with ASD. Smartphones and tablets provide accessible, portable, and relatively low-cost platforms capable of integrating visual, auditory, and interactive elements that align with the learning preferences of many autistic children. Unlike traditional clinic-based therapies that depend heavily on specialist

availability, mobile applications can be implemented across home, school, and community environments, thereby increasing flexibility and continuity of intervention. Mobile applications provide several advantages over traditional approaches, including accessibility, engagement, and consistency (Liu et al., 2023). They also support objective data collection, can reduce costs by limiting intensive one-on-one clinical time (Mahmoudi et al., 2024), and allow personalized experiences through adaptive features tailored to each child's needs.

Several therapy methods have been integrated into mobile apps:

- Applied Behavior Analysis (ABA) a well-established behavioral intervention that employs systematic reinforcement and task decomposition to develop communication, social, and adaptive skills (Xu et al., 2025; Mruzek et al., 2019).
- Augmentative and Alternative Communication (AAC) is a set of strategies and tools designed to supplement or replace natural speech for individuals with complex communication needs (Castellanos et al., 2022; Laubscher et al., 2019).
- Picture Exchange Communication System (PECS) is a structured communication system that utilizes picture symbols to enable non-verbal or minimally verbal children to express needs and intentions (Castellanos et al., 2022).
- Treatment and Education of Autistic and related Communication Handicapped Children (TEACCH) Apps show visual schedules and step-by-step instructions (Rojas & Chavarriaga, 2023; Shminan et al., 2020).

Table 1 Search string development (IEEE Xplore).

Step	Search terms	Results
1	"Autism mobile application development"	122
2	("Autism mobile application development") AND ("child")	100
3	("Autism mobile application development") AND ("child") AND ("communication")	73
4	("Autism mobile application development") AND ("child") AND ("communication") AND ("behavior")	40

- Video Modeling Demonstrating target behaviors through video examples (Laubscher et al., 2019; Kalantarian et al., 2019).

Many apps also use game features like points and rewards to keep children interested. Some use newer technology like machine learning to adjust to each child or augmented reality for practicing social skills in a safe environment.

However, despite the thousands of autism-related applications available in app stores, relatively few have undergone rigorous scientific evaluation (Liu et al., 2023). This creates a significant challenge for parents, educators, and clinicians seeking evidence-based tools to support children with ASD. This review examines mobile apps for children with ASD, focusing on design, target skills, implementation, and effectiveness. The review answers four questions:

- RQ1: What are the main trends in mobile app development for autism?
- RQ2: What design methods are most commonly used?
- RQ3: How are apps tested in real situations?
- RQ4: What results are reported from using these apps?

By addressing these research questions, this review offers guidance for advancing evidence-based mobile interventions for autism.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Research Design

This study is a Systematic Literature Review (SLR) using a clear, step-by-step method to review research on mobile apps for children with ASD, ensuring the process is systematic and repeatable. PRISMA guidelines were followed through four stages: Identification, Screening, Eligibility, and Inclusion. Only peer-reviewed publications from 2018–2025 were included, comprising journal articles and full conference papers (≥ 4 pages) from established technical venues such as IEEE and ACM, due to the increased focus on autism mobile technologies, especially with the rise of AI and machine learning.

2.2 Search Strategy

2.2.1 Database Selection and Rationale

This SLR used two complementary databases: Scopus and IEEE Xplore. Scopus was selected for its broad multidisciplinary coverage, as it indexes substantially more peer-reviewed journals than Web of Science, with notable strengths in engineering, computer science, and applied domains (Falagas et al., 2008; Mongeon & Paul-Hus, 2016). IEEE Xplore was included to capture high-impact technical publications in computer science, artificial intelligence, and biomedical engineering, providing access to IEEE journals, conference proceedings, and technical literature (Franco et al., 2021). The Scopus search yielded 38 records, while IEEE Xplore returned 40 records, resulting in a combined total of 78 records prior to screening. Of the 40 IEEE records, full-text access was available for four studies. After screening and removing one duplicate, three IEEE studies met the inclusion criteria and were incorporated into the final analysis.

2.2.2 Boolean Search String Development

Table 1 shows the evolution of the search string:

Table 2 Search string development (Scopus).

Step	Search terms	Results
1	"Autism mobile application development"	277
2	("Autism mobile application development") AND ("child")	219
3	("Autism mobile application development") AND ("child") AND ("communication")	96
4	("Autism mobile application development") AND ("child") AND ("communication") AND ("behavior")	38

The Boolean search string was adapted to the syntax of each database. In Scopus, field-specific tags were applied using the Advanced Search interface: (TITLE-ABS-KEY ("Autism mobile application development") AND TITLE-ABS-KEY("child") AND TITLE-ABS-KEY("communication") AND TITLE-ABS-KEY("behavior")). In IEEE Xplore, the Advanced Search interface was used with the "All Metadata" field, applying equivalent keywords: ("Autism mobile application development") AND ("child") AND ("communication") AND ("behavior"). Both searches were executed on 27 January 2026. Total Records Identified: 78

2.3 Inclusion and Exclusion Criteria

We included peer-reviewed articles and conference papers 2018-2025 about mobile apps for children aged 0-18 with autism that help with communication, behavior, emotions, or daily skills, written in English. Studies were excluded if they focused on adults (19+ years), used non-mobile technologies (e.g., desktop-only applications), addressed only diagnosis or academic skills without intervention components, or were limited to parent education without direct child engagement. Short conference abstracts (<2 pages) and non-peer-reviewed gray literature were excluded to ensure methodological rigor. However, full conference papers (≥4 pages) from established technical

venues (e.g., IEEE, ACM conferences) were included if they:

- Underwent peer review
- Provided sufficient methodological detail
- Reported empirical data or design validation
- Addressed the research questions directly

This inclusive approach was adopted because:

- Mobile application development research is frequently published in high-quality technical conferences (IEEE, ACM)
- Conference papers in computer science often contain rigorous technical contributions equivalent to journal articles
- Excluding all conference papers would omit significant technical innovations in this rapidly evolving field
- Precedent exists in systematic reviews of technology-mediated interventions

One study (Zamry et al., 2022), although classified as a literature review, was retained as a justified exception because it presented an original methodological contribution: a religiously-aligned Islamic guideline framework for autism mobile application development derived from systematic literature synthesis. This exception was explicitly noted and consistently applied throughout the review process. Unlike Liu et al. (2023) and Concepción Patiño et al. (2022), which provided descriptive surveys of existing applications or AR interventions without novel frameworks, Zamry et al. developed and validated a structured guideline that directly informs mobile application design processes. This methodological innovation analogous to design science research outputs warranted inclusion as it addresses RQ2 (design methodologies) by proposing evidence-based

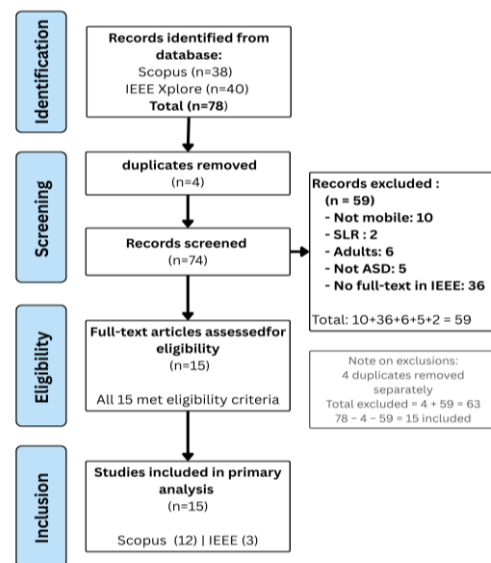


Figure 1 presents the PRISMA flow diagram summarizing the study selection process.

design principles absent from conventional development approaches.

2.4 Quality Assessment

The Critical Appraisal Skills Programme (CASP) checklist was used to assess the methodological quality of included studies (Critical Appraisal Skills Programme, 2018). CASP is a widely recognized tool for evaluating research studies in systematic reviews, as it allows for systematic assessment of trustworthiness and quality across various study designs. Each study was evaluated across eight CASP criteria: (1) clarity of research aims, (2) appropriateness of methodology, (3) research design, (4) recruitment strategy, (5) data collection methods, (6) consideration of researcher-participant relationship, (7) ethical considerations, and (8) rigor of data analysis. Each criterion was scored as 1 (Yes) if adequately addressed or 0 (No/Unclear) if not sufficiently reported. Total quality scores ranged from 0 to 8. Studies scoring 7–8 were classified as high quality, 6 as medium-high, 5 as medium, and 1–4 as low quality. Quality assessment was conducted by the primary reviewer (H.S.), with a second reviewer independently verifying assessments for 30% of studies to ensure

consistency; discrepancies were resolved through discussion. The CASP Qualitative Checklist was selected for its structured approach to evaluating methodological transparency across diverse study designs. Although originally developed for qualitative health research, its criteria are broadly applicable to the heterogeneous designs included in this review, consistent with its use in mixed-methods systematic reviews of technology-mediated interventions.

2.5 PRISMA Flow Diagram

The PRISMA diagram illustrates the overall study selection process. Searches conducted in Scopus and IEEE Xplore identified a combined total of 78 records (38 from Scopus and 40 from IEEE Xplore). Figure 1 illustrates the study selection process. A total of 78 records were identified through database searching (38 from Scopus and 40 from IEEE Xplore). Four duplicate records were removed, including three repeated entries within Scopus and one overlapping record between Scopus and IEEE Xplore, leaving 74 records for screening. After title and abstract screening, 59 records were excluded for the following reasons: 10 did not involve mobile applications, 36 records were excluded due to the unavailability of accessible full-text versions during the screening process, 6 focused exclusively on adult populations, 5 were not related to autism, and 2 were systematic literature reviews. Fifteen full-text articles were assessed for eligibility, all of which met the inclusion criteria and were included in the primary analysis (12 from Scopus and 3 from IEEE Xplore). Screening and eligibility assessment were conducted independently by two reviewers, with high inter-rater agreement. One study (Zamry et al., 2022) was retained despite being classified as a literature review, as it met the predefined inclusion criteria described in Section 2.3.

Table 3 Overview of selected studies.

No.	Journal / Year	Country	Study Type	Primary Focus	RQ Addressed
1	Zamry et al. (2022) Religious Guideline	Malaysia	SLR + Guideline Development	Religious boundaries for autism apps (Islamic guidelines)	RQ2
2	Rojas & Chavarriaga (2023) TEAutonomía	Chile/Spain	Design, Development & Usability Evaluation	Dynamic activity design for autonomy (TEAutonomia app)	RQ1, RQ2, RQ3, RQ4
3	Yap et al. (2019) App4Autism	Malaysia	Design, Development & Pilot Study	Emotion recognition with heart rate monitoring (App4Autism)	RQ2, RQ3, RQ4
4	Shminan et al. (2020) AutiTEACCH	Malaysia	Design, Development & Multi-Stage Evaluation	Caregiver training for TEACCH implementation (AutiTEACCH)	RQ2, RQ3, RQ4
5	Bir et al. (2023) ML Emotion	India	ML System Design + Algorithm Development	Machine learning for emotion recognition	RQ2
6	Xu et al. (2025) Adaptive Games	China	Framework Development + Prototype	Adaptive multimodal serious games with DDA algorithm	RQ1, RQ2, RQ3
7	Castellanos et al. (2022) Deep Mobile	Taiwan/China	System Design + Architecture Documentation	Deep mobile linguistic therapy (NLP + Speech)	RQ2
8	Purnama et al. (2021) Squizzy	Indonesia	Design, Development & Evaluation	Educational software for cognitive skills (Squizzy)	RQ2, RQ3, RQ4
9	Laubscher et al. (2019) Video VSDs	USA	Single-Case Experimental Design (Pilot)	Video visual scene displays for play communication	RQ2, RQ3, RQ4
10	Kalantarian et al. (2019) Guess What?	USA	System Design + Algorithm Validation	Crowdsourcing emotion data via charades game (Guess What?)	RQ2, RQ3
11	Mruzek et al. (2019) - iOS Toilet Training	USA (Multi-site)	Pilot Randomized Controlled Trial	iOS-based toilet training app with moisture sensor	RQ2, RQ3, RQ4
12	Hussain et al. (2023) IoT System	India	System Design	IoT-based monitoring system (EEG + sensors)	RQ2
13	Arbaoui et al. (2024) - PECS App	Morocco	Design & Development	Context-aware PECS mobile app for communication	RQ2, RQ3
14	Chistol et al. (2023) - Autism Assistant	Romania	Single-Case Experimental Study	Personalized attention strategies in tablet-based learning app	RQ1, RQ2, RQ3, RQ4
15	Chinchay et al. (2024) - Attention	Colombia/ Spain	Single-Case Experimental Study	Personalized attention strategies in tablet-based learning app	RQ2, RQ3, RQ4

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Overview of Selected

Table 3 summarizes the characteristics of the 15 primary studies included in this review, while Table 4 provides detailed methodological and technical information for each study. The 15 studies came from diverse geographic regions: 8 from Asia (53%) including Malaysia, India, China, Indonesia, and Taiwan; 5 from the Americas (33%) including the United States, Chile, and

Colombia; 1 from Europe (7%) from Romania; and 1 from North Africa (7%) from Morocco. Several studies involved cross-national collaboration (e.g., Chile/Spain and Colombia/Spain). This geographic diversity, extending beyond previous reviews to include Latin America, Eastern Europe, and North Africa, reflects the growing global interest in mobile ASD interventions. The studies were published between 2019 and 2025.

Table 4 Summary of Study Characteristics.

No.	Sample Size	Age Range	Duration	Platform	Framework/Approach	Primary Outcome
1	SLR: 35 autism + 26 religious app papers	N/A	N/A	Mobile apps	Islamic guidelines for autism apps	24 design guidelines (11 multimedia 13 features)
2	12 children with ASD	3-8 years	4 weeks	Android tablet	TEACCH, UCD	SUS 97.08/100 (Grade A+), high usability, parent satisfaction
3	10 children with ASD	7-12 years	3 sessions	Android (smartphone + smartwatch)	Gamification, emotion recognition	Improved emotion recognition, acceptable heart rate monitoring
4	Stage 1: 2 experts Stage 2: 5 caregivers Stage 3: 24 caregivers	N/A (Caregivers)	3-stage evaluation	Android	TEACCH, ADDIE, FRAME, Behaviorism	SUS 77.5/100 (Grade B), IMMS satisfaction 3.98/5
5	Not specified	6-14 years	N/A	Mobile app	Machine learning (SVM, RF, NN)	Proposed ML framework (not tested with users)
6	30 children with ASD	3-6 years	8 weeks	Android tablet	ABA, Gamification, DDA algorithm	Improved social skills, communication attention span
7	No users	Children (age not specified)	N/A	Android + iOS	NLP, PECS, AAC, Speech Recognition	System architecture validated (no us testing)
8	10 children + 5 therapists + 5 parents	5-15 years	Short-term	Android tablet	Cognitive therapy	Positive feedback, reduces therapist workload, portable
9	1 dyad (1 ASD + 1 peer)	8 years	2 months (30 sessions)	iPad (GoVisual app)	AAC, Video VSDs, Peer-mediated	Large effect (Tau-U=0.8), +5.8 to +11 turns per session
10	8 children with ASD + 2 raters	Mean 8.5±1.85 years	90-second sessions	Smartphone (charades game)	Video modeling, AI classifiers	High emotion labeling: Disgust 94%, Surprised 92%, Neutral 81%
11	32 children (16 WMP, 16 SBT)	3-6 years	12 weeks + 3-month follow-up	iOS (iPod + moisture sensor)	ABA, Rapid Toilet Training	84% retention, WMP achieved similar outcomes with less daily time (p=0.02)
12	No users	Children (age not specified)	N/A	IoT-based monitoring system (EEG + sensors)	EEG, heart rate monitoring	NOT implemented, NOT tested
13	Not specified (design study)	Children (age not specified)	N/A	Mobile app (Android)	PECS, Context-awareness, UCD	Personalized PECS with contextual picture adaptation based on location and activity
14	60 stakeholders (parents, teachers, therapists) + children with ASD	Children (age not specified)	Cross-sectional	Mobile (Android) + Web	ABA, HCD (Double Diamond), UCD	High user satisfaction; supports parer as co-therapist in home-based ABA therapy
15	5 children with ASD	5-18 years	Multiple sessions (baseline + intervention + post-intervention)	Android tablet (Samsung Galaxy Tab S4, web-based)	Personalized attention strategies, UCD, Multiple-baseline desi	Improved attention and autonomy; auditory + visual stimuli effective for ASD engagement

Table 5 CASP Quality Assessment

NO.	Aims	Method	Design	Recruit	Data	Relationship	Ethics	Analysis	Total
1	1	1	1	1	1	1	1	1	8/8
2	1	1	1	1	1	1	0	1	7/8
3	1	1	1	1	1	1	0	1	7/8
4	1	1	1	0	1	1	0	1	6/8
5	1	1	1	1	1	1	0	1	7/8
6	1	1	1	0	0	1	0	0	4/8
7	1	1	1	0	1	1	0	1	6/8
8	1	0	1	0	0	1	0	0	3/8
9	1	1	1	0	1	0	0	0	4/8
10	1	1	1	0	1	0	0	1	5/8
11	1	1	1	1	1	1	1	1	8/8
12	1	1	0	0	0	1	1	0	4/8
13	1	1	1	0	1	0	0	1	5/8
14	1	1	1	1	1	1	0	1	7/8
15	1	1	1	1	1	1	1	0	7/8

Table 4 summarizes key characteristics of the 15 studies, including sample sizes, age ranges, intervention durations, platforms, frameworks, and primary outcomes.

Study types included seven design and evaluation studies involving users (47%), one randomized controlled trial (7%), three single-case experimental studies (20%), one systematic literature review (7%), and three design-only proposals without user testing (20%). Sample sizes varied considerably across the empirical studies, ranging from small groups of children to mixed samples involving caregivers, therapists, and experts. One study involved 32 children, whereas several design-oriented and system-architecture studies did not include participants. Testing durations ranged from brief single-session evaluations to multi-week interventions lasting up to eight or twelve weeks. Most empirical studies reported relatively short evaluation periods, typically under eight weeks, while a few studies did not specify the duration.

3.2 Study Quality

Table 5 presents the CASP quality assessment for all 15 studies. Seven studies achieved high quality (7–8 points), two medium-high (6 points), two medium (5

points), and four low qualities (1–4 points), with an average of approximately 6 out of 8

Most studies clearly stated their aims and employed appropriate methodological approaches, as reflected in the overall CASP scores. However, the quality assessment revealed notable patterns of methodological weakness. The most frequently absent criterion was ethical reporting, which was inadequately addressed in 11 of 15 studies (73%), raising concerns about participant protection standards in technology-mediated pediatric research. Recruitment transparency was also problematic, with 8 studies (53%) failing to clearly describe their selection procedures, limiting replicability. Notably, the two highest-quality studies (Zamry et al. and Mruzek et al.) were those that combined rigorous theoretical frameworks with systematic evaluation procedures, suggesting that methodological quality is associated with the integration of established intervention protocols rather than technological complexity alone.

3.3 Research Trends (RQ1)

Several important trends emerged in mobile application development for autism.

- The first trend is the shift from communication-focused tools to

applications targeting multiple developmental skills, including emotional regulation, daily activities, social interaction, attention, and independence. Chinchay et al. specifically targeted attention assessment through personalized digital strategies, while Chistol et al. developed a home-based ABA platform enabling parents to support therapy outside clinical settings. For example, the TEAutonomía application developed by Rojas and Chavarriaga supports daily routines and autonomy in addition to communication.

- The second trend is the adoption of context-aware and adaptive frameworks. Arbaoui et al. introduced a context-aware PECS application that adapts picture cards dynamically based on the user's location and activity, representing a significant advancement in PECS-based communication tools.
- The third trend is the increased use of multimodal feedback. Most applications integrate visual, auditory, and occasionally tactile elements to enhance engagement and support learning. Prior research indicates that effective autism applications typically rely on multiple feedback modalities. For example, Xu et al. incorporated visual, auditory, and tactile responses within their adaptive game-based intervention, demonstrating how multimodal feedback can improve user interaction and task performance.
- The fourth trend is the growing integration of artificial intelligence. AI and adaptive techniques were incorporated in approximately nine studies (60%),

including adaptive difficulty systems, context-aware personalization, and emotion recognition. Machine learning for emotion detection was implemented in three studies (20%), while one study applied natural language processing for speech-based interaction.

- The fifth trend relates to cultural considerations. Only one study explicitly addressed cultural and religious factors, developing design guidelines aligned with Islamic values, highlighting the limited attention given to sociocultural adaptation in current applications.
- The sixth trend is increased parent involvement. Several intervention-based applications incorporated caregiver participation through training, monitoring tools, and communication features. For instance, AutiTEACCH was designed to support caregiver training, while another intervention integrated parent-clinician communication to facilitate remote support.

3.4 Design Methodologies (RQ2)

Table 6 summarizes the technological features and development approaches adopted across the included studies. The findings highlight the multidisciplinary nature of mobile application development for children with autism spectrum disorder, combining therapeutic frameworks, software engineering practices, and interactive technologies. User-Centered Design emerged as one of the most commonly applied approaches, particularly in studies involving usability testing and iterative development. Behavioral and structured learning frameworks were also widely integrated, including Applied Behavior Analysis and TEACCH, especially in intervention-based applications.

Gamification elements such as rewards, challenges, and interactive activities were frequently used to increase engagement and motivation. Artificial intelligence and adaptive techniques were incorporated in several studies (60%), primarily for emotion recognition, adaptive difficulty adjustment, and speech-based interaction. Machine learning was used for facial emotion detection, while natural language processing supported speech and language-based interventions. These implementations ranged from conceptual system designs to validated applications. In terms of interaction design, touchscreens represented the dominant input modality across most applications, reflecting their accessibility for children with ASD. Additional interaction methods included camera-based facial recognition (27%), voice and microphone input, and physiological sensors such as heart rate or moisture detection (13%). These multimodal interfaces supported personalized and adaptive learning experiences. Most applications were developed for mobile platforms, with Android being the most common operating system, followed by iOS and cross-platform solutions. Tablets were frequently used in intervention contexts due to their suitability for structured learning and visual interaction. Regarding connectivity, many applications were designed to function offline (40%), supporting accessibility in home and therapy settings. A smaller number relied on cloud-based services, Bluetooth connectivity, or hybrid architectures for data synchronization, remote monitoring, and clinician communication. Overall, the results indicate a shift toward integrated, adaptive, and user-focused technological solutions, where therapeutic frameworks are combined with interactive design and emerging artificial intelligence

capabilities to support learning, communication, and daily functioning in children with ASD.

3.5 Implementation and Testing (RQ3)

Ten studies (67%) evaluated their applications with end users, including children, parents, therapists, and occasionally teachers or peer participants. Testing was conducted across multiple contexts, including home, school, clinical, and laboratory environments, with several studies combining more than one setting. Participant involvement varied, with parents participating in many intervention-based applications, followed by therapists, teachers, and peer-supported interventions. Sample sizes were generally small, with most studies involving fewer than 30 children and only one study including a larger cohort of 32 participants. Testing durations ranged from single-session evaluations to extended interventions lasting up to 12 weeks, with most studies conducted over short-term periods. This represents a critical methodological limitation: short evaluation windows are insufficient to assess skill generalization, maintenance of gains, or potential adverse effects of prolonged app use. Furthermore, the predominance of small samples and single-site designs limits the external validity of reported outcomes. Notably, only Mruzek et al. included a follow-up assessment beyond the intervention phase, highlighting the urgent need for longitudinal evaluation designs in future research. Development processes typically followed iterative cycles of prototype development, user testing, feedback collection, and system refinement. Attention and engagement improvements were also reported, with Chinchay et al. observing reduced need for specialist interventions and improved task completion times following personalized attention strategy implementation. Usability assessment was explicitly reported in two studies using the System

Usability Scale. One application achieved an excellent usability score of 97/100, while another reported a good score of 77.5/100, both exceeding the standard SUS benchmark. Across studies, parents played a central role not only in supporting children during app use but also in reinforcing learned skills within daily home routines.

3.6 Reported Impacts (RQ4)

Eight studies implemented intervention-based applications and reported measurable outcomes for children with ASD. Percentages in this section are calculated based on these intervention studies only.

- Communication Skills (4 studies, 50% of intervention studies) Mobile applications improved children's ability to express needs and interact. Laubscher et al. reported an increase from 2 to 12 communication attempts per session (approximately 500% improvement) using video visual scene displays, with a large effect size ($\text{Tau-U} = 0.8$). The study also found that picture-based communication did not reduce natural speech. Rojas and Chavarriaga observed improvements in self-expression and task completion, while Purnama et al. reported positive feedback from children, parents, and therapists.
- Emotional and Behavioral Control (3 studies, 38%) Applications supported emotion recognition and stress awareness. Yap et al. demonstrated improved emotion recognition using training activities and heart-rate monitoring. Kalantarian et al. achieved accuracy rates between 81% and 94% using machine learning for facial emotion detection (Disgust 94%, Surprised 92%, Neutral 81%). Visual schedules developed by Rojas and Chavarriaga also

helped reduce anxiety by increasing predictability.

- Daily Living Skills (3 studies, 38%) Apps supported independence in daily routines. Mruzek et al. found that a toilet-training application required significantly less daily training time compared with traditional methods ($p = 0.02$) while achieving similar learning outcomes, with 84% skill retention after 12 weeks. Additional improvements were reported in dressing and hygiene routines, along with reduced therapist workload.
- Parent Satisfaction (5 studies, 62%) Parents reported high satisfaction with mobile interventions. Usability scores reached 97/100 in the study by Rojas and Chavarriaga and 77.5/100 in Shminan et al. In the study by Mruzek et al., approximately half of parents reported being "very satisfied." Parents particularly valued progress tracking, increased confidence in supporting their children, and reduced stress levels.

4. DISCUSSION

4.1 Key Findings and Limitations

This systematic review of 15 peer-reviewed studies indicates a clear shift in mobile application development for children with autism spectrum disorder toward integrated, theory-driven interventions combining therapeutic frameworks with interactive and adaptive technologies. User-Centered Design was reported in about one-quarter of the studies (27%), while structured therapeutic approaches such as Applied Behavior Analysis (20%), TEACCH (13%), and PECS (13%) were incorporated to support learning, communication, and daily functioning.

Table 6 Technology features and technical specifications.

No.	Platform	Input / Output	AI/Adaptive features	Framework / Development tools	Connection type
1	Mobile apps (general)	N/A (Guidelines) / Multimedia (visual, audio, text, animation)	Recommendations for adaptive content	Literature synthesis, thematic analysis	Offline-first recommended
2	iOS, Android, Web	Touch, voice, gesture / Visual cues, audio feedback, rewards	Some apps use adaptive difficulty	Systematic review, app analysis framework	Varies (online/offline)
3	Android tablet	Touch / Visual schedules, step-by- step guides, rewards	Dynamic difficulty adjustment	Java/Kotlin, Android Studio, SQLite, MVC architecture	Offline
4	Android + smartwatch	Touch, camera (facial) / Visual emotion feedback, haptic alerts	Emotion recognition algorithms	Java, Android Studio, Bluetooth API, Client-server	Bluetooth
5	Android	Touch / Video tutorials, visual guides, progress tracking	Manual customization by caregivers	Java, Android Studio, SQLite, Modular design (3 modules)	Offline
6	Mobile (unspecified)	Camera (facial) / Emotion labels	ML-based emotion recognition (SVM, RF, NN)	Python, scikit-learn, TensorFlow, ML pipeline	Requires processing power
7	Android tablet	Touch, microphone / Visual/audio rewards, animations	DDA (Dynamic Difficulty Adjustment) algorithm	Unity C#, Game engine, Visual Studio	Offline
8	Android + iOS	Voice, microphone / Speech synthesis (TTS), PECS images	NLP for language processing	React Native, Python backend, Google Cloud Speech API, Cloud database	Cloud-based
9	AR devices (phones, tablets, smart glasses)	Touch, gesture, gaze / AR overlays, 3D objects, animations	Some reviewed apps use adaptive AR	VOSviewer, systematic review tools	Varies (camera-based AR)
10	Android tablet	Touch / Visual rewards, audio feedback	Manual difficulty selection	Android Studio, Java, graphic design tools	Offline
11	iPad (GoVisual app)	Touch (hotspots on videos) / Speech output, video playback	Videos customizable by therapist	iOS (Swift/Objective-C), GoVisual app, video editing	Offline
12	Smartphone (iOS/Android)	Camera (video), touch / Real-time feedback, emotion labels	ML classifiers (CNN, SVM)	React Native, Python, scikit- learn, TensorFlow, Cloud storage	Online (crowdsourcing)
13	Android mobile app	Touch input / Contextual picture cards	Context-aware content adaptation (location-based)	React Native, Android Studio, PECS framework, UCD	Online (context/location AP
14	Android + Web (React)	Touch / ABA exercises, video, rewards	Adaptive therapy content based on progress	Unity, React, ABA protocols, Double Diamond HCD	Online + Offline
15	Android tablet (Samsung Galaxy Tab S4)	Touch / Visual timers, audio cues, animations	Personalized attention configurations (inactivity timer, difficulty)	Web technologies (HTML/CSS/JS), multiple- baseline design	Offline

focused tools to multifunctional applications addressing emotional regulation, attention, independence, and daily living skills, often involving caregivers in home-based intervention contexts. Artificial intelligence and adaptive mechanisms were present in approximately 9 studies (60%), mainly for emotion recognition, personalization, and adaptive learning. Android emerged as the most commonly used platform, followed by iOS and cross-platform solutions.

CASP quality assessment indicated moderate methodological rigor, with an average score of 6/8 and 47% of studies rated as high quality. However, several limitations were evident: 71% of studies with real user samples (10 of 14) involved fewer than 30 participants, 79% were conducted over short intervention durations of under eight weeks, and most lacked comparison groups or longitudinal evaluation. Overall, the field is progressing toward user-centered and adaptive intervention models, yet significant gaps remain in long-term effectiveness, comparative validation, and real-world implementation. Future research should prioritize rigorous experimental designs, multi-site trials, and standardized outcome measures to strengthen the evidence base.

4.2 Limitations of This Review

This review has several limitations. First, although two databases were used (Scopus and IEEE Xplore), full-text access in IEEE Xplore was restricted to only 4 of 40 identified records, which may have resulted in the exclusion of relevant studies indexed in other databases such as PubMed, Web of Science, or PsycINFO, although Scopus provides broad multidisciplinary coverage. In addition, only English-language publications were included, which may have excluded potentially relevant research conducted in other languages.

Second, the heterogeneity of the included studies limited direct comparison and prevented meta-analysis or pooled effect size calculation. The studies varied considerably in research design, sample size, intervention duration, and outcome measures, ranging from single-case studies to randomized controlled trials, and from single-session evaluations to interventions lasting up to 12 weeks.

Third, this review did not evaluate the technical quality, data security, or privacy practices of the included applications, which are critical considerations for real-world implementation, particularly for pediatric populations. Cost-effectiveness analysis was also beyond the scope of this review.

Additionally, potential publication bias may exist, as studies reporting negative or non-significant findings are less likely to be published. This may lead to an overestimation of the effectiveness of mobile interventions for children with ASD.

4.3 Future Directions

Future research should prioritize longitudinal evaluations, standardized usability assessments, and stronger collaboration between clinicians, developers, and caregivers to enhance effectiveness and real-world applicability. Studies with larger sample sizes ($n > 100$), randomized controlled designs, active comparison groups, and long-term follow-up periods of at least 6–12 months are needed to produce stronger evidence. Greater geographic and cultural diversity is also essential. Future work should include low- and middle-income countries, culturally diverse populations, and the development of culturally adapted interventions that reflect different family values and care practices. Data privacy and security require urgent attention. Since mobile applications often collect sensitive data such as videos, photos,

and behavioral records of children, future research should establish clear privacy frameworks, encryption standards, and ethical guidelines tailored for pediatric digital health tools. Emerging technologies present additional opportunities. Future studies may explore virtual reality for social skills training, wearable sensors for physiological monitoring, and voice-based interfaces for more natural interaction. Machine learning models should also be validated across diverse populations to reduce bias and ensure equitable performance across different user groups.

5. CONCLUSION

This systematic literature review synthesized 15 peer-reviewed studies published between 2018 and 2025 on mobile application development for children with Autism Spectrum Disorder, following PRISMA guidelines and dual-database searches. The findings demonstrate a clear evolution in mobile autism intervention technologies toward integrated, user-centered, and adaptive solutions. Eight studies involved user-based intervention or evaluation, all reporting positive outcomes across multiple developmental domains, including communication (4 studies), emotional regulation (3 studies), attention (2 studies), and daily living skills (3 studies).

Applications integrating therapeutic frameworks such as Applied Behavior Analysis, TEACCH, and PECS with user-centered design approaches were consistently associated with improved usability and intervention outcomes. Recent studies also introduced technological innovations, including context-aware communication systems, home-based intervention platforms supporting caregiver participation, and adaptive applications targeting attention and autonomy. These developments reflect a shift from clinic-centered tools toward

more holistic and ecologically valid interventions embedded within everyday environments.

Contribution to the Literature

This review advances the existing literature in three primary ways. First, it focuses exclusively on peer-reviewed primary research studies and applies structured quality appraisal using the CASP framework, moving beyond descriptive reviews of commercially available applications toward evidence-based evaluation of development approaches and intervention outcomes.

Second, the integration of technical and interdisciplinary sources enabled the identification of emerging methodological innovations, including adaptive systems, personalized intervention models, and context-aware application design, which are often underrepresented in traditional health-focused reviews.

Third, this review explicitly examines the relationship between development methodologies and reported outcomes, highlighting the importance of participatory design, stakeholder engagement, and therapeutic grounding in improving usability and intervention effectiveness.

Comparison with Previous Reviews

The findings both corroborate and extend prior systematic reviews. Previous work has highlighted the rapid growth of autism-related mobile applications and the predominance of communication-focused tools; however, this review demonstrates a broader shift toward multifunctional interventions addressing emotional, behavioral, and daily living domains.

Consistent with earlier reviews, methodological limitations remain evident across the field, including small sample sizes, short intervention durations, and limited longitudinal evaluation. In the present review, 71% of studies with real user samples involved fewer than 30 participants, 79% of studies

reporting intervention duration were conducted over short-term periods, and only one study included follow-up assessment beyond the intervention phase. These patterns suggest that, despite technological advances, the empirical evidence base remains at an early stage of development. Implications for Research and Practice

For researchers, the findings highlight the need for more rigorous evaluation designs, including larger samples, comparison conditions, and longitudinal assessment of intervention outcomes. The recurring association between stakeholder involvement and improved usability outcomes suggests that participatory and user-centered development approaches should be considered essential components of autism technology design.

For practitioners and caregivers, the review underscores the importance of selecting empirically validated applications rather than relying solely on commercially popular tools lacking research support. The emergence of home-based intervention platforms indicates strong potential for technology to improve accessibility and continuity of care, particularly outside clinical settings.

Final Remarks

Mobile applications demonstrate considerable promise for supporting children with autism spectrum disorder across communication, emotional, behavioral, and daily functioning domains. However, realizing this potential requires sustained commitment to rigorous research methodologies, interdisciplinary collaboration, and long-term evaluation of real-world implementation. By synthesizing current evidence and identifying critical methodological gaps, this review provides a foundation for advancing both research and practice in technology-mediated autism intervention and supports the development of

more effective, accessible, and evidence-based digital tools for children with autism.

REFERENCES

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*, 5th ed., American Psychiatric Publishing.
- Arbaoui, F. E. Z., Hari, K. E., & Saidi, R. (2024). Enhancing communication for people with autism through the design of a context-aware mobile application for PECS. *Journal of ICT Standardization*, 12(3), 243–270. <https://doi.org/10.13052/jicts2245-800X.1231>
- Bir, V., Bhatt, A., Chauhan, S., Poonam, & Tanwar, (2023). Design and Development of Application for Children Suffering from Autism Spectrum Disorder using Machine Learning. *In Proceedings of the 2023 International Conference on Advances in Computation, Communication and Information Technology*. pp. 772-777. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10466085>
- Castellanos, A., Liu, C., & Shi, C. (2022). Deep mobile linguistic analysis for children with autism spectrum disorder. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19(19), 12857.
- Chinchay, Y., Collazos, C. A., Gomez, J., & Montoro, G. (2024). Designing learning technologies: Assessing attention in children with autism through a single case study. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 2118–2128. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3475741>
- Chistol, M., Turcu, C., & Danubianu, M. (2023). Autism Assistant: A platform for autism home-based therapeutic intervention. *IEEE Access*, 11, 94188–94204. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3310397>
- Concepción, D., Munoz, L., Villarreal, V., & Pardo, C. (2022). A systematic review of the use of mobile applications and augmented reality for the education of children with Autism Spectrum Disorder (ASD). *In 2022 V Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil (AmITIC)*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9941308>
- Critical Appraisal Skills Programme. (2018). *CASP Qualitative Studies Checklist*. <https://casp-uk.net/casp-tools-checklists/qualitative-studies-checklist/>
- Deeon, J. (2025). *Kids on the autism spectrum in Thailand*. Bangkok Mothers & Babies International. Retrieved October 9, 2025, from <https://www.bambiweb.org/news/kids-autism-spectrum-thailand>
- Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses. *FASEB Journal*, 22(2), 338–342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>

- Hussain, S., Ullah, S., Khan, M. A., & Kim, H. (2023). A support system for autistic children using IoT technology. *International Journal for Advanced Research in Science & Technology*, 13(5), 145-148. <https://www.ijarst.in/public/uploads/paper/150751684148831.pdf>
- Kalantarian, H., Jedoui, K., Washington, P., Tariq, Q., Dunlap, K., Schwartz, J., & Wall, D. P. (2019). Labeling images with facial emotion and the potential for pediatric healthcare. *Artificial Intelligence in Medicine*, 98, 77-86. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2019.06.004>
- Laubscher, E., Light, J., & McNaughton, D. (2019). Effect of an application with video visual scene displays on communication during play: Pilot study of a child with autism spectrum disorder and a peer. *Augmentative and Alternative Communication*, 35(4), 299-309. <https://doi.org/10.1080/07434618.2019.1699160>
- Liu, X., Zhao, W., Qi, Q., & Luo, X. (2023). A survey on autism care, diagnosis, and intervention based on mobile apps: Focusing on usability and software design. *Sensors*, 23(14), Article 6260. <https://doi.org/10.3390/s23146260>
- Maenner, M. J., Warren, Z., Williams, A. R., Amoakohene, E., Bakian, A. V., Bilder, D. A., & Shaw, K. A. (2023). Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 8 years Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 sites, United States, 2020. *MMWR Surveillance Summaries*, 72(2), 1-14. <https://doi.org/10.15585/mmwr.ss7202a1>
- Mahmoudi, E., Yoo, P. Y., Chandra, A., Cardoso, R., Dos Santos, C. D., Majnemer, A., & Shikako, K. (2024). Gamification in mobile applications for children with disabilities: A scoping review. *JMIR Serious Games*, 12, Article e49029. <https://doi.org/10.2196/49029>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264-269. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213-228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Mruzek, D. W., McAleavey, S., Loring, W., Butter, E., Smith, T., McDonnell, E., Levato, L., Aponte, C., Travis, R., Aiello, R., Taylor, C., Wilkins, J., Corbett-Dick, P., Finkelstein, D., York, A., & Zaniibbi, K. (2019). A pilot investigation of an iOS-based app for toilet training children with autism spectrum disorder. *Behavioral Interventions*, 32(1), 19-30. <https://doi.org/10.1177/1362361317741741>
- Purnama, Y., Herman, F., Hartono, J., Neilsen., Suryani, D. & Sanjaya, G. (2021). Educational software as assistive technologies for children with autism spectrum disorder. *Procedia Computer Science*, 179, 6-16. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.12.002>
- Rojas, G., & Chavarriaga, J. (2023). A mobile application to dynamically design activities to promote personal autonomy in children with autism spectrum disorder: A usability evaluation. In A. Coman & S. Vasilache (Eds.), *Social computing and social media*. pp. 269-282. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35927-9_19
- Shminan, A. S., Choi, L. J., & Sharif, S. (2020). AutiTEACCH: Mobile-based learning in a structured teaching approach for autistic children caregivers. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information System (ICIMCIS)*. pp. 259-264. <https://doi.org/10.1109/ICIMCIS51567.2020.9354288>
- The Place for Children with Autism. (n.d.). *The 3 levels of autism: Diagnosing autism*. Retrieved October 9, 2025, from <https://theplaceforchildrenwithautism.com/diagnosing-autism/the-three-levels-of-autism>
- Xu, Z., Zhao, Y., Wang, J., Chang, J., & Zhang, Y. (2025). Framework for adaptive multimodal serious games for early intervention of autistic children. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 18(1), 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2025.08.002>
- Yap, C. Y., Ng, K. H., Cheah, Y., Lim, S. Y. Price, J., & Vries, M. D. (2019). App4autism: An integrated assistive technology with heart rate monitoring for children with autism. In A. A. Bakar, H. Haron, & L. S. Teoh (Eds.), *Visual informatics: Bridging research and practice*. pp. 485-497. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34032-2_44
- Zamry, A. A., Abdullah, M. H. L., & Zakaria, M. H. (2022). A guideline for designing mobile applications for children with autism within religious boundaries. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 13(11), 264-271.

Random Forest Algorithm Applications in Studying Children Under-five: Systematic Literature Review (SLR)

Maroning Useng¹, Sahidan Abdulmana¹, and Anas Tawalbeh^{1*}

¹Faculty of Science and Technology, Fatoni University, Pattani 94160, Thailand

* Corresponding Author, E-mail: anas.tawalbeh@ftu.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB. 2026.01.003

Received 22 December 2025; **Revised** 28 April 2026; **Accepted** 29 April 2026

ABSTRACT

Effective monitoring of health and development in children under five is essential for timely detection, informed clinical decision-making, and cost-effective public health action. Recent advances in machine learning have expanded the potential of under-five monitoring systems, particularly for early screening, population-level risk prediction, and determinant-oriented surveillance. This paper presents a systematic literature review of Random Forest and closely related modelling practices in under-five monitoring, with attention to both opportunities and methodological constraints. The review identified 15 eligible studies, covering applications in respiratory infection monitoring, malaria risk prediction, nutrition and growth surveillance, and developmental assessment, drawing on national survey microdata, clinical records, and imaging or audio modalities. The review concludes by outlining implications for researchers, practitioners, and educators, and by highlighting priorities for stronger evidence—particularly external validation, transparent leakage safeguards, and evaluation aligned with clinical purpose.

KEYWORDS: Systematic Literature Review, Random Forest, Under-five children, Risk prediction, Model validation.

1. INTRODUCTION

1.1 *background of the study*

Machine learning is revolutionising several sectors, including child health and development, by providing innovative solutions to challenging issues. Specifically, Random Forest supervised machine learning algorithm which is a “tree-based” technique in which several decision trees are constructed from a random set of covariates and used to predict an outcome label for a subset of samples (Fenta et al., 2021). The algorithm is the ensemble of a large number of individual decision trees, and the final classification or prediction is obtained from the class with the most votes (Okagbue et al., 2021). It functions by creating and combining several decision trees derived from various bootstrap samples of the dataset, which helps to enhance predictive accuracy and reduce the risk of overfitting (Mthethwa & Melesse, 2025). Additionally, one of the major key features of the random forest is that it is able to deal with high-dimensional datasets and handle missing data with minimal preprocessing. Another notable strength of Random Forest is its capability to estimate feature importance (Mthethwa & Melesse, 2025).

Within under-five health and development monitoring, Random Forest has been repeatedly adopted because it performs reliably on the dominant data structures in this area—particularly mixed tabular predictors combining clinical, anthropometric, household, and sociodemographic factors—while also offering a practical pathway for identifying influential determinants through variable-importance outputs (Fenta et al., 2021). Alongside survey-style prediction, recent work extends Random Forest to engineered feature representations derived from chest X-ray images and respiratory audio. In pneumonia detection from chest X-rays, Random Forest is commonly

embedded within classical machine-learning pipelines built on handcrafted or engineered features rather than end-to-end deep learning, sometimes reporting very high internal performance (Panda & Das, 2025; Brindha et al., 2024). In respiratory sound screening, however, Random Forest can exhibit a clinically important precision–recall trade-off when applied to high-dimensional embeddings, where high precision may coincide with low sensitivity for the positive class (Ehtesham et al., 2025). This variation highlights that Random Forest performance cannot be interpreted meaningfully without attention to the clinical purpose (screening versus diagnosis), the representation type (tabular versus embeddings), and the preferred error profile. Evidence from population-level risk prediction further suggests that Random Forest is frequently competitive but not consistently optimal when compared with well-tuned boosting-based ensembles. In Acute respiratory infections (ARI) prediction using Bangladesh Demographic and Health Survey (BDHS) microdata, Random Forest performs strongly after imbalance handling but can be surpassed by gradient boosting methods (Hasan et al., 2024). By contrast, in NMIS-based malaria prediction, Random Forest is reported as a comparatively balanced model when evaluated across discrimination metrics and confusion-matrix trade-offs (Mthethwa & Melesse, 2025). In nutrition and growth monitoring, Random Forest appears particularly persuasive when outcomes align with established measurement rules and clinically proximal predictors, including anthropometric indices and indicators of severity (Fenta et al., 2021; Momand et al., 2022). Across developmental monitoring tasks, Random Forest is widely used as a baseline and, increasingly, is situated alongside explainable modelling approaches that aim to make

risk factors transparent for policy and practice (Hossain et al., 2023; Mim et al., 2025).

Despite this breadth of use, the literature remains fragmented. Studies differ substantially in dataset scale (large national surveys versus small hospital cohorts), data modality (tabular versus image/audio representations), imbalance handling (e.g., SMOTE or oversampling), validation design (simple hold-out splits versus cross-validation, and how tuning is separated from evaluation), and metric choice (accuracy versus AUROC and recall-focused reporting). These differences restrict cross-study comparability and make it difficult to generalise claims about the conditions under which Random Forest should be preferred, the reliability of reported performance, and the extent to which variable-importance results are stable and transferable across contexts.

Accordingly, this systematic literature review synthesises the evidence on Random Forest for monitoring health and development outcomes in children under five years. It aims to contribute to the body of knowledge already available on the application of Random Forest machine learning algorithm in children under-five:

- RQ1- How is Random Forest operationalised in under-five health and development monitoring systems?
- RQ2- What data regimes and input representations are used in Random Forest-based under-five monitoring?

1.2 Objectives

This systematic literature review aims to consolidate and critically synthesise evidence on the use of Random Forest for monitoring health and development outcomes in children under five years. Specifically, the review seeks to map how Random Forest has been deployed across diverse endpoint families—respiratory conditions, malaria, nutrition

and growth outcomes, and developmental monitoring—and to categorise its recurring roles as a primary predictive model, a benchmark comparator within multi-model evaluations, and a determinant-oriented tool that supports interpretation through variable-importance ranking. In doing so, the review also characterises the dominant data regimes underpinning these applications, including large-scale national survey microdata, smaller clinical and hospital datasets, and high-dimensional sensor or repository modalities such as chest X-ray images and respiratory audio.

A second objective is to evaluate the methodological quality and comparability of the Random Forest evidence base by examining dataset size, validation design, and evaluation metrics, with particular attention to how class imbalance is handled. The review therefore analyses the extent to which reported model performance is shaped by differences in hold-out splits versus cross-validation, separation of tuning from evaluation, and the use of resampling techniques such as SMOTE or oversampling. By linking these methodological choices to the observed performance patterns—especially clinically consequential error profiles in screening contexts (e.g., sensitivity/recall)—the review aims to identify robust conclusions, clarify where evidence may be optimistic or context-bound, and propose future research priorities such as external validation, distribution-shift testing, calibration and threshold reporting, and stability analysis of variable-importance results.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Research Design

To achieve the objectives mentioned above, drawing on available suggested steps and recommendations for reporting (Moher et al., 2009), this work adopts the PRISMA in conducting a

systematic literature review (SLR) of Random Forest machine learning algorithm application for children under-five. The research took place on 28/2/2026.

First, this study identified the related articles "focuses mainly on peer-reviewed research articles published in reputable journals or conference proceedings, which specifically address Random Forest application for children under-five. Scopus databases had been used through relevant search terms, and within specific scope of computer science, engineering, & social science. Prior comparative studies have demonstrated that Scopus indexes a larger number of peer-reviewed journals and provides more comprehensive citation coverage, especially for journals published outside North America and Western Europe (Falagas et al., 2008; Mongeon & Paul-Hus, 2016). Mongeon and Paul-Hus (2016), in a large-scale analysis published in Scientometrics, empirically showed that Scopus covers approximately 60–70% more journals than WoS, with particularly strong representation in engineering, computer science, and business-related disciplines. Given the inherently multidisciplinary nature of Machine Learning algorithm (i.e., Random Forest), the use of Scopus is therefore methodologically justified and consistent with systematic studies in this research area. Next, the article titles and abstracts were screened to identify potentially eligible studies according to the inclusion criteria. Finally, eligible articles were investigated thoroughly for further synthesis.

2.2 Inclusion criteria

The inclusion criteria were articles that are (a) written in both English, and Bahasa Indonesia, (b) published anytime in the scope of computer science, engineering, and social

science, and finally, (c) it matches the search string:

(TITLE-ABS-KEY ("Random Forest") AND TITLE-ABS-KEY ("child") AND TITLE-ABS-KEY (classification) AND TITLE-ABS-KEY (under-five)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "COMP") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "SOCI")). The studies included in this review focused on the application of Random Forest algorithm for children under-five scope. The inclusion criteria were: studies that employed Random Forest algorithm, studies that reported quantitative performance metrics, and studies published in peer-reviewed journals. Studies were excluded if they did not involve Random Forest algorithm in the developed model in the study, or were not published in peer-reviewed journals.

2.3 Screening Procedure and Eligibility Assessment

The retrieved articles were brought using Scopus databases were 18 articles. A discussion within the research team has done further investigation for the retrieved articles. Firstly, a thorough review of the articles title, abstract, and keywords conducted based on the inclusion of Random Forest, children, under-five keywords, & there were 18 included articles as the last outcome for further investigation. Finally, one retrieved paper where a book chapter and it was inaccessible, two papers were non-related as one of it did not implement Random Forest, while the second were a pure data mining not machine learning, thus remaining 15 papers for further investigation. (see Figure 1 for a PRISMA flowchart of the entire procedure).

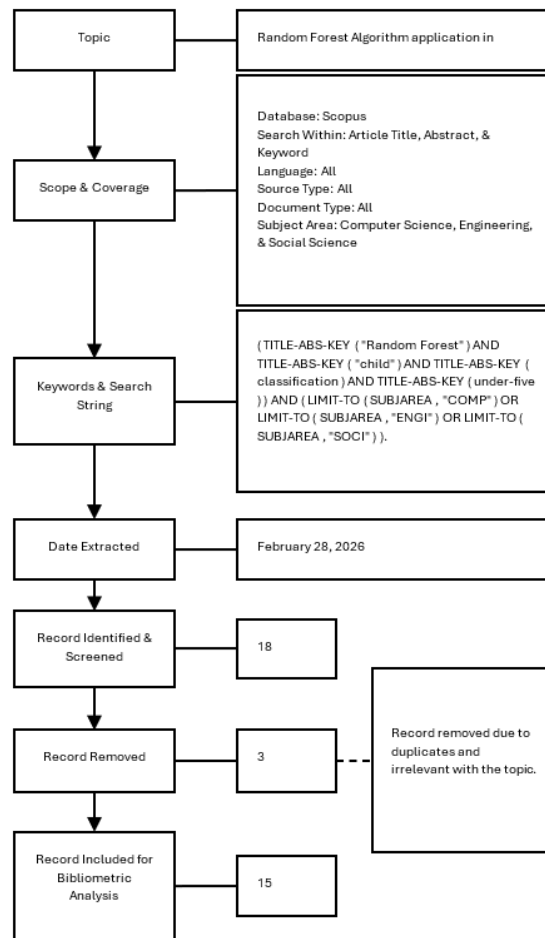


Figure 1 Flowchart of systematic literature review, adapted from Moher et al. (2009).

3. RESULTS AND FINDINGS

Across the 15 included studies, Random Forest is consistently presented as a practical “workhorse” classifier rather than a purely theoretical option. It is repeatedly chosen because it performs robustly on the data types that dominate child-health and child-development research—especially mixed tabular inputs that combine clinical, anthropometric, and sociodemographic variables. More recently, it is also being applied to engineered feature representations extracted from signals or images, where it remains a dependable baseline and, in some cases, a strong primary model.

3.1 Data Extraction and Synthesis

Across the included studies, Random Forest was used in three recurring roles within under-five monitoring tasks: (i) as the primary classifier, (ii) as a

benchmark comparator in multi-model evaluations, and (iii) as a feature-importance or variable-ranking tool to support determinant-focused interpretation. The researchers organised the evidence by endpoint family—respiratory infection, malaria, nutrition/growth, and developmental monitoring—and summarised each group in terms of data modality (tabular survey/clinical records versus engineered features from images or audio), dataset scale, validation approach, and the evaluation metrics reported.

3.2 Type of System

Across the respiratory studies, RANDOM FOREST is mainly used as a classical ML classifier, but its behaviour varies sharply depending on the input representation and the screening objective.

In CXR-based pneumonia work, RANDOM FOREST is embedded in engineered-feature pipelines rather than end-to-end deep learning. One edge-feature approach reports 98.72% accuracy after explicit class balancing (oversampling from 5,863 to 8,340 images) and feature fusion (e.g., Canny–Sobel). A second CXR workflow—built around simpler image vectorisation for non-CNN classifiers—reports RANDOM FOREST outperforming baseline models such as decision tree and kNN, with 92.9% accuracy. In audio-based pneumonia screening, respiratory sounds are converted into 512-dimensional embeddings derived from short (2-second) clips and then classified using standard ML models including RANDOM FOREST. Here, RANDOM FOREST shows a clinically problematic error profile: it achieves high positive-class precision (0.90) but very low positive-class recall (0.13), with the confusion matrix dominated by false negatives—an outcome that is difficult to accept in a screening context where sensitivity is typically prioritised.

For ARI prediction using survey microdata, RANDOM FOREST is evaluated alongside multiple classifiers on a BDHS sample of 11,157 under-five children with 2.5% prevalence. After SMOTE-based balancing and missingness handling, RANDOM FOREST reaches 0.889 accuracy, but XGBoost performs better at 0.910, reinforcing the broader pattern that boosting-based ensembles can surpass RANDOM FOREST in large tabular prediction tasks.

In NMIS 2021 malaria prediction ($n = 10,655$ under-five children tested by RDT), RANDOM FOREST is presented as the most balanced model. It achieves 0.79 accuracy and 0.80 AUC, with the confusion-matrix results described as showing a favourable trade-off between false positives and false negatives compared with competing approaches. Finally, in the nutrition and growth domain, RANDOM FOREST appears most persuasive when

predictors are clinically proximal and the outcome aligns closely with established measurement rules. In undernutrition determinant modelling using EDHS-scale data ($n = 29,333$ children aged 0–59 months), RANDOM FOREST is reported as the strongest model ($\text{AUC} \approx 0.761$) and is also used to rank covariates through its importance measures. In hospital-based oedematous malnutrition severity prediction, RANDOM FOREST performance increases substantially after SMOTE, with reported post-SMOTE accuracy reaching 97.14%, illustrating both RANDOM FOREST's ability to exploit strong clinical signal and the sensitivity of reported performance to resampling design in imbalanced clinical datasets.

3.3 Data sources

The evidence base falls into three main data regimes. First, nationally representative survey microdata dominate population-level risk prediction, typically with large samples (roughly 10,000–30,000 observations) and recurring applications to malaria, ARI, undernutrition determinants, and mortality-related tasks. Second, clinical and hospital datasets are usually smaller and site-specific, and are more often used for severity classification and decision-support settings where predictors are closely tied to clinical workflows. Third, repository- or sensor-like modalities—notably CXR images and respiratory audio—support high-dimensional inputs, either as engineered feature sets or foundation-model embeddings, paired with clinically annotated labels.

3.4 Validation Designs and Evaluation Metrics

Most studies relied on internal validation, typically using a hold-out split (often 80/20) and, less consistently, cross-validation. Where cross-validation was used, its purpose varied: some papers applied CV mainly for hyperparameter

tuning, while others incorporated repeated CV into the main evaluation and then reported performance again on a separate held-out test set.

Evaluation metrics also varied with the endpoint and the degree of class imbalance. Several studies reported AUROC, sensitivity/specificity, precision/recall, F1, and agreement statistics such as Cohen's kappa, whereas others emphasised accuracy as the headline result. In strongly imbalanced problems (for example, ARI prevalence of 2.5%), many studies explicitly applied resampling strategies—most commonly SMOTE or random oversampling—to rebalance the training data prior to model fitting.

4. DISCUSSION and FUTURE WORKS

Across endpoints, a clear pattern is that RANDOM FOREST is repeatedly chosen because it performs robustly on heterogeneous, mixed-type predictors and can support both prediction and determinant-style interpretation through its internal importance measures. However, the comparative evidence suggests that RANDOM FOREST is more often competitive than consistently optimal—especially in large, tabular benchmark settings where well-tuned boosting methods are included. Taken together, this supports positioning RANDOM FOREST as a strong, interpretable benchmark model, rather than treating it as the default best-performing choice.

The most consequential source of heterogeneity across studies is data modality. In CXR-based pipelines, RANDOM FOREST often benefits from engineered feature sets that align well with tree-based partitioning, and this can translate into very strong internal performance. By contrast, in embedding-driven audio pipelines, RANDOM FOREST may default to a more conservative

decision boundary—seen in high precision but low recall—unless it is explicitly optimised for sensitivity and imbalance-related costs. This reinforces a key implication for under-five screening: performance should not be judged on accuracy alone. The clinically relevant question is often whether the model meaningfully reduces missed cases, given the high cost of false negatives in screening-oriented deployment.

Cross-study comparability is limited by three recurring methodological differences. First, studies vary in validation rigour—including how train-test splits are constructed, whether repeated cross-validation is used, and whether hyperparameter tuning is clearly separated from final evaluation. Second, comparability is affected by metric choice: papers that foreground accuracy are not directly comparable to those that emphasise AUROC or recall/sensitivity, particularly for screening endpoints. Third, results are sensitive to imbalance handling, as SMOTE or oversampling can substantially alter the reported performance profile.

As a result, exceptionally large post-resampling gains should be interpreted cautiously unless studies transparently report leakage controls—such as patient-level separation where relevant, resampling performed only within training folds, and nested cross-validation (or equivalent procedures) to prevent optimistic bias.

Future work can strengthen the evidence base by designing models around the clinical purpose rather than treating performance as a single, generic target. For screening applications, the evaluation should prioritise sensitivity/recall, supported by threshold calibration and transparent reporting of the resulting false-negative burden. For determinant-oriented monitoring, studies should go beyond point estimates of importance and report the

stability and robustness of variable rankings (for example, across resamples, folds, or alternative specifications).

More broadly, stronger claims about real-world utility will depend on external validation and explicit distribution-shift testing. This is particularly important for repository-based imaging pipelines and device-dependent audio systems, where differences in acquisition conditions, hardware, and clinical settings can materially change model behaviour even when internal validation appears strong.

5. CONCLUSION

This systematic literature review targeted Scopus-indexed, peer-reviewed studies that applied Random Forest methods to under-five child health across computing, engineering, and social science disciplines, retrieving English and Bahasa Indonesia articles that met the predefined search string and inclusion criteria. Fifteen studies were eligible, deploying Random Forests for respiratory infection surveillance, malaria risk prediction, nutrition and growth monitoring, and developmental assessment using national survey datasets, clinical records, and imaging/audio repositories. Reported model performance was frequently encouraging and several works demonstrated prototype web deployments, yet the corpus exhibits substantive methodological limitations: evaluation metrics were often mismatched to clinical intent, external validation was infrequent, potential data-leakage pathways were insufficiently mitigated, and stability of variable-importance rankings was rarely assessed. For Random Forest applications to mature into reliable, generalisable tools for under-five health, future research must align model design and metric selection with explicit clinical objectives (e.g.,

prioritise sensitivity and calibrate thresholds for screening), routinely quantify the robustness of determinant rankings across resamples and model specifications, and undertake external validation and distribution-shift testing—especially for models built on heterogeneous imaging and device-dependent audio data.

ACKNOWLEDGMENT(S)

The author(s) would like to thanks to all members of this work including the research team, the developers and the university staff. This research was funded by Thailand Science Research and Innovation (TSRI).

REFERENCES

- Brindha, M., Maheswari, S., Vidhyabharathi, S., & Yaspe Francis, M. V. (2024). Utilizing Random Forest to Diagnose Pneumonia in Children. 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence for Internet of Things, AlloT 2024, (AlloT), 1–6. <https://doi.org/10.1109/AlloT58432.2024.10574685>
- Ehtesham, A., Singh, A., Kumar, S., & Khoei, T. T. (2025). Early Detection of Pediatric Pneumonia Using Google's HeAR Model: A Respiratory Sound Embedding Approach. 2025 IEEE 6th Annual World AI IoT Congress, AlloT 2025, 185–191. <https://doi.org/10.1109/AlloT65859.2025.11105317>
- Falagas, M. E., Pitsouni, E. I., Malietzis, G. A., & Pappas, G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: Strengths and weaknesses. *FASEB Journal*, 22(2), 338–342. <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>
- Fenta, H. M., Zewotir, T., & Muluneh, E. K. (2021). A machine learning classifier approach for identifying the determinants of under-five child undernutrition in Ethiopian administrative zones. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01652-1>
- Hasan, M. N., Emon Proddhan, M., Alam, A., Sultana, S., Rahman, M., & Parvin, H. (2024). A Comparative Study of Machine Learning Algorithms in Predicting Acute Respiratory Infection of Under-Five Children in Bangladesh Using Imbalanced Data. 2024 IEEE International Conference on Biomedical Engineering, Computer and Information Technology for Health, BECITHCON 2024, (November), 274–278. <https://doi.org/10.1109/BECITHCON64160.2024.10962602>
- Hossain, M. I., Haq, I., Talukder, A., Suraiya, S., Rahman, M., Saleheen, A. A. S., Methun, M. I. H., Habib, M. J., Hossain, M. S., Nayan, M. I. H., & Hussain, S. (2023). Performance Evaluation of Machine Learning-Based Algorithms to Predict the Early Childhood Development Among Under Five Children in Bangladesh.

- Journal of Computer Science, 19(5), 641–653.
<https://doi.org/10.3844/jcssp.2023.641.653>
- Husaini, A., Hoeronis, I., Lumana, H. H., & Pusporeni, L. D. (2023). Early Detection of Stunting in Toddlers Based on Ensemble Machine Learning in Purbaratu Tasikmalaya. *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (JustIN)*, 11(3), 487. <https://doi.org/10.26418/justin.v11i3.66465>
- Islam, M., Usman, M., Mahmood, A., Abbasi, A. A., & Song, O. Y. (2020). Predictive analytics framework for accurate estimation of child mortality rates for Internet of Things enabled smart healthcare systems. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 16(5). <https://doi.org/10.1177/1550147720928897>
- Maasthi, M. J., Gururaj, H. L., Ravi, V., D. B., Almeshari, M., & Alzamil, Y. (2023). Decision-making Support System for Predicting and Eliminating Malnutrition and Anemia. *The Open Bioinformatics Journal*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.2174/0118750362246898230921054021>
- Mim, M. A., Khatun, M. R., Hossain, M. M., Rahman, W., & Munir, A. (2025). Exploring Early Learning Challenges in Children Utilizing Statistical and Explainable Machine Learning. *Algorithms*, 18(1). <https://doi.org/10.3390/a18010020>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group*. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of internal medicine*, 151(4), 264-269 should be updated to "Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Bmj*, 339.
- Momand, Z., Zarinkhail, M. S., & Aryan, M. F. (2022). Machine Learning Based Prediction of Edematous Malnutrition in Afghan Children. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 322, 235–245. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85990-9_20
- Mongeon, P., & Paul-Hus, A. (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis. *Scientometrics*, 106(1), 213–228. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- Mthethwa, S. M., & Melesse, S. F. (2025). A Machine Learning Approach to the Prediction of Malaria in Under-five Children: Analysis of the 2021 Nigerian Malaria Indicator Survey. *The Open Public Health Journal*, 18(1), 1–12. <https://doi.org/10.2174/0118749445396163250604103305>
- Okagbue, H. I., Oguntunde, P. E., Obasi, E. C. M., Adamu, P. I., & Opanuga, A. A. (2021). Diagnosing malaria from some symptoms: a machine learning approach and public health implications. *Health and Technology*, 11(1), 23–37. <https://doi.org/10.1007/s12553-020-00488-5>
- Panda, P., & Das, S. (2025). Paediatric Pneumonia Detection Using Edge-Based Feature Extraction Techniques. *International Conference on Artificial Intelligence and Emerging Technologies, ICAIET 2025*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICAET65052.2025.11211131>
- Ziyad, S. R., Liyakathunisa, Aljohani, E., & Saeed, I. A. (2023). Diagnosis of Autism Spectrum Disorder by Imperialistic Competitive Algorithm and Logistic Regression Classifier. *Computers, Materials and Continua*, 77, 1515–1534. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.040874>

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตเก่าหักและบล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยใยขงและเส้นใยสับปะรด

มนิรัตน์ เข็มขาว^{1*}, เกียรติศักดิ์ คงเขียว¹, พิมพ์ อภิชาติบุตร¹, อภิษฎา สุวรรณสะอาด², วิชัย ดำรงโกภักดิ์³

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม 73170 ประเทศไทย

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม 73170 ประเทศไทย

³คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: maneerat.khe@mutr.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB. 2026.01.004

รับเมื่อ 14 กันยายน 2568 แก้ไขเมื่อ 6 เมษายน 2569 ตอบรับเมื่อ 16 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตทั่วไปเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตที่ใช้เก่าหักทดแทนมวลรวมทั้งหมด (BA100) บล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยใยขงร้อยละ 10 (HF10) และบล็อกคอนกรีตผสมเส้นใยสับปะรดร้อยละ 10 (PF10) โดยกำหนดขอบเขตการประเมินแบบ Cradle-to-Gate เริ่มตั้งแต่กระบวนการสกัดและแปรรูปวัสดุ การขนส่งวัสดุถึงสถานที่ผลิตบล็อกคอนกรีต และการผลิตบล็อกคอนกรีต พบว่า การผลิตบล็อกคอนกรีต 1 ลบ.ม. ขนาด 70 x 190 x 390 มม. น้ำหนักไม่เกิน 7 กก. ตามมาตรฐาน มอก. 58-2560 บล็อกคอนกรีตกลวงไม่รับน้ำหนัก ที่มีค่ากำลังอัดอยู่ที่ 4.15-5.37 MPa มีความหนาแน่นจัดอยู่ในบล็อกคอนกรีตทั่วไป ที่อายุ 28 วัน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตทั่วไป บล็อกคอนกรีต BA100 บล็อกคอนกรีต HF10 และบล็อกคอนกรีต PF10 อยู่ที่ 194.86, 169.97, 202.45 และ 202.56 kgCO₂e ตามลำดับ โดยจุดที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดมาจากวัตถุดิบ (ปูนซีเมนต์) ร้อยละ 62-74 รองลงมาคือกระบวนการผลิตบล็อกคอนกรีตคิดเป็นร้อยละ 26-36 ซึ่งการใช้เก่าหักแทนที่มวลรวมสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 12.77

คำสำคัญ: การประเมินก๊าซเรือนกระจก, บล็อกคอนกรีต, เส้นใยใยขง, เส้นใยสับปะรด, ของเหลือทิ้งทางการเกษตร

Greenhouse Gas Emission Assessment of Bottom Ash Block, Hemp and Pineapple Fibers Concrete Blocks

Maneerat Khemkhao^{1*}, Keattisak Kongkeaw¹, Pimporn Aphichatabut¹, Apisedkorn Suwansaard², and Vichai Domrongpakkaphan³

¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, NakhonPathom 73170, Thailand

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, NakhonPathom 73170, Thailand

³Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand

* Corresponding Author, E-mail: maneerat.khe@rmutr.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.004

Received 14 September 2025; **Revised** 6 April 2026; **Accepted** 16 April 2026

ABSTRACT

This study aims to assess the greenhouse gas emissions from concrete blocks in comparison to three alternatives: concrete blocks with 100% bottom ashes as a replacement of aggregate (BA100), concrete blocks mixed with 10% hemp (HF10), and concrete blocks mixed with 10% pineapple fibers (PF10) as additional materials by volume of sand. The assessment was evaluated based on the cradle-to-gate, which included the process of extracting and processing materials, transportation of materials to the concrete production plant, and concrete block production. The results found that concrete blocks 1 m³ in size, 70 x 190 x 390 mm, weigh not more than 7 kg, according to the TIST 58-2560 Concrete. The compressive strength of the concrete blocks varies from 4.15 to 5.37 MPa, and their density is classified as that of a general concrete block aged 28 days. The greenhouse gas emissions for the general blocks, BA100, HF10, and PF10, were 194.86, 169.97, 202.45, and 202.56 kgCO₂e, respectively. The key emission hotpot comes from raw materials (cement), accounting for 62-74%, followed by the concrete block manufacturing process at 26-36%. The replacement of bottom ash can contribute to efforts in reducing greenhouse gas emissions by 12.77%.

KEYWORDS: Greenhouse gas emission assessment, Concrete block, Hemp fiber, Pineapple fiber, Agricultural waste

1. บทนำ

ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและปัญหาสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ทำให้จำเป็นต้องให้ความสำคัญกับแนวทางแก้ปัญหาที่ยั่งยืนอย่างเร่งด่วน (Zhang et al., 2023)

ภาคการก่อสร้างเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impacts, EI) ทั้งในด้านการใช้พลังงาน การปล่อยมลพิษสู่ชั้นบรรยากาศ และทรัพยากรธรรมชาติที่ถูกดึงมาใช้ ดังนั้น การส่งเสริมความยั่งยืนในการก่อสร้างจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อลดผลกระทบทางนิเวศวิทยาในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้าง การบริการ การบำรุงรักษา และช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งานของโครงสร้าง (Kurda et al., 2018)

เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันมากที่สุดในโลก 52×10^9 ตันในปี 2562 และความต้องการวัสดุผสม (ส่วนประกอบหลักของคอนกรีต) ต่อปีคาดว่าจะเพิ่มขึ้น (Freedonia, 2016) คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) เป็นวัสดุก่อสร้างอาคารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด มีส่วนทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมของมนุษย์ทั่วโลกที่น่าตกใจถึงร้อยละ 5-8 (Salas et al., 2018)

เช่นเดียวกับ Kurda et al. (2018) ได้รายงานความต้องการปูนซีเมนต์อยู่ที่ 4,400 ล้านตัน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 6,000 ล้านตัน ปูนซีเมนต์มีสัดส่วนมากที่สุดเมื่อเทียบกับค่า EI ทั้งหมดของคอนกรีต และมีส่วนทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลกมากกว่าร้อยละ 5 ต่อปี (Kurad et al., 2017)

จากประเด็นดังกล่าวทำให้ภาคการก่อสร้างอาคารได้เปลี่ยนผ่านไปสู่การออกแบบอาคารที่ยั่งยืน โดยตระหนักถึงความสำคัญของวงจรชีวิตโครงการทั้งหมด ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบไปจนถึงขั้นตอนการกำจัด การนำกลยุทธ์สีเขียวมาใช้ตลอดวงจรชีวิตโครงการก่อสร้างมีบทบาทสำคัญในการบรรลุความยั่งยืนของอาคาร กระบวนการก่อสร้างที่ยั่งยืนควรก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ไม่เพียงแต่ในขั้นตอนการผลิตและการดำเนินงานเท่านั้น แต่ตลอดวงจรชีวิตโครงการทั้งหมดประมาณร้อยละ 80 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการใช้พลังงานในภาคการก่อสร้างสามารถนำมาประกอบกับขั้นตอนการดำเนินงานของอาคารได้ ในการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า มีการนำเทคโนโลยี นโยบาย และ

มาตรการ/เทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการดำเนินงาน (Sentman et al., 2008; Reber, 2009; Furr, 2009) อีกทั้งการควบคุมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงเริ่มต้นของการผลิตและการก่อสร้างก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน (Zhang et al., 2023) ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้จึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น (Souza et al., 2021)

ทางเลือกหนึ่งในการลดค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (EI) ของคอนกรีต คือ การแทนที่ปูนซีเมนต์และมวลรวมธรรมชาติด้วยวัสดุประสานเสริม เช่น เถ้าลอย (Fly ash, FA) (NRMCA, 2014; Tait and Cheung, 2016) มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (recycled concrete aggregates, RCA) (Marinković et al., 2010; Tošić et al., 2015) โดยทำการศึกษาผลกระทบของปริมาณ RCA สูง และ FA ต่อค่า EI ของคอนกรีต และการใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมสำหรับคอนกรีตที่มีช่วงการทรุดตัวคงที่ ซึ่งการแทนที่ทรายร้อยละ 50, 70 และ 100 โดยเถ้าหนัก ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ขณะที่คอนกรีตที่มีอัตราส่วน W/C คงที่ การแทนที่ทรายร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยเถ้าหนัก ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Pushkar, 2019)

บล็อกคอนกรีตเป็นวัสดุที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น การขึ้นรูปเป็นรูปทรง ความหนา ความหนาแน่น และความแข็งแรงที่แตกต่างกันสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรมการก่อสร้างที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การผลิตบล็อกคอนกรีตใช้ทรัพยากรธรรมชาติจำนวนมาก เช่น มวลรวม (ทราย และหินฝุ่น) และซีเมนต์ (Souza et al., 2021) ซึ่งการใช้ปูนซีเมนต์ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีการใช้พลังงานมากเกินไปในระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์ และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกอื่นๆ เป็นจำนวนมาก การใช้ทรายแม่น้ำมากเกินไปส่งผลเสียหลายประการต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม รวมถึงกันแม่น้ำที่ล้นขึ้น ปริมาณน้ำที่ลดลง และการสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในน้ำจืด ดังนั้นการค้นหาลู่ทางทดแทนปูนซีเมนต์ และทรายแม่น้ำจึงได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา (Sathiparan et al., 2022)

บล็อกคอนกรีตที่ผสมเศษวัสดุทางการเกษตร เช่น เวอร์มิคูไลต์ กากอ้อย เปลือกมะพร้าว และเปลือกถั่วต่าง ๆ (ถั่วลิสง พิสตาชิโอ วอลนัท และเฮเซลนัท) บางส่วนเป็นมวล

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของบล็อกคอนกรีต (ขนาด 70 x 190 x 390 มม.) และค่า emission factor (EF)

อัตราส่วนผสมบล็อกคอนกรีต	ทั่วไป	เสาหนักร้อยละ 100 (BA100)	เส้นใยแก้วร้อยละ 10 (HF10)	เส้นใยสับปะรดร้อยละ 10 (PF10)	EF (kgCO ₂ e/หน่วย)
ปูนซีเมนต์ (กก./ก้อน)	0.7	0.7	0.7	0.7	0.912*
ทราย (กก./ก้อน)	1.4	0	1.4	1.4	0.0037
หินปูน (กก./ก้อน)	4.2	0	4.2	4.2	0.0003021**
เถ้าหนัก (กก./ก้อน)	0	6.0	0	0	
เส้นใยแก้ว (กก./ก้อน)	0	0	0	0.56	
เส้นใยสับปะรด (กก./ก้อน)	0	0	0.56	0	
น้ำประปา (ล./ก้อน)	0.63	0.42	0.69	0.69	0.5410
ไฟฟ้า (kWh/ก้อน)	4.92x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	4.92x10 ⁻³	0.5986
รถบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก รุ่งแบบปกติ 50% Loading (ขาไป) เชื้อเพลิงดีเซล น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 1.5 ตัน					0.3805
รถบรรทุก 4 ล้อ ขนาดเล็ก รุ่งแบบปกติ 0% Loading (ขากลับ) เชื้อเพลิงดีเซล น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 1.5 ตัน					0.2415

หมายเหตุ ค่า EF อ้างอิงจากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (มหาชน) สำหรับ CFP กรกฎาคม 2565 ยกเว้น* อ้างอิงจากเว็บ Climaticq [https://www.climaticq.io/data/emission-factor/a7 a8 ae3 6 - 6 6 d5 - 4 1 ff-a4 d6 - 0 3 a1 e9 9 3 b9 7 a](https://www.climaticq.io/data/emission-factor/a7 a8 ae3 6 - 6 6 d5 - 4 1 ff-a4 d6 - 0 3 a1 e9 9 3 b9 7 a;); ** อ้างอิงจากเว็บ Climaticq <https://www.climaticq.io/data/emission-factor/b44aed0-a8f1-4e2d-a870-8f2ac9edec5a> (เข้าถึงข้อมูลเมื่อวันที่ 13/9/68)

ตารางที่ 2 ระยะทางการขนส่งสำหรับการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต (ไป-กลับ)

ประเภทวัตถุดิบ	ระยะทางสำหรับการขนส่ง (กม.)			
	บล็อกคอนกรีตทั่วไป	บล็อกคอนกรีต BA100	บล็อกคอนกรีต HF10	บล็อกคอนกรีต PF10
ปูนซีเมนต์	6.4	16.2	22	44.2
ทราย	6.4	0	22	44.2
หินปูน	14.7	0	12.1	6.4
เถ้าหนัก	0	14.2	0	0
เส้นใยแก้ว	0	0	82.2	0
เส้นใยสับปะรด	0	0	0	73.4
น้ำประปา	0	0	0	0

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Ali, Ouni & Kurda, 2022)	เถ้าหนักที่ใช้ในงานวิจัยนี้	เถ้าหนักจากถ่านหิน (Bai et al., 2005)
SiO ₂	19.6	45.13	61.80
CaO	61.8	18.64	3.19
Al ₂ O ₃	5.4	12.73	17.80
Fe ₂ O ₃	2.7	4.24	6.97
MgO	1.2	2.30	1.34
SO ₃	3.1	0.99	0.79
Na ₂ O	0.07	0.77	0.95
K ₂ O	0.38	0.22	2.00
Alkalinity (Na ₂ O+0.658K ₂ O)	0.32	0.91	n/a
TiO ₂	0.25	n/a	0.88
P ₂ O ₅	n/a	n/a	0.20
ความชื้น	0.19	3.14	n/a
ปริมาณที่ค้ำบนแคร่	3.60 (45 ไมโครเมตร)	95.96 (45 ไมโครเมตร)	60 (42.5 ไมโครเมตร)
ความถ่วงจำเพาะ	3.11	2.48	1.58
การสูญเสียจากการจุดระเบิด (LOI)	1.6	10.10	3.61

หมายเหตุ n/a หมายถึง ไม่มีข้อมูล

รวมละเอียดมีความแข็งแรงเพียงพอตรงตามมาตรฐาน ASTM และช่วยปรับปรุงฉนวนกันความร้อนได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มักมีความพรุนและการดูดซับน้ำสูงกว่าทรายธรรมชาติ จึงจำเป็นต้องปรับส่วนผสมอย่างระมัดระวัง (Shaikh et al., 2025) โดย Akhtar &

Malkawi (2025) ได้พัฒนาบล็อกคอนกรีตโดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาร้อยละ 30 ด้วยส่วนผสมของวัสดุเสริมซีเมนต์ (เถ้าลอยร้อยละ 15 ซิลิกาฟูมร้อยละ 10 และฝุ่นมวลรวมละเอียดรีไซเคิลร้อยละ 5) มีค่าความแข็งแรงรับแรงอัดสูงสุด 7.6 MPa ซึ่งมากกว่าบล็อกคอนกรีตทั่วไป

ร้อยละ 2.7 และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 6.48×10^7 ตัน ส่วน Souza et al. (2021) ใช้ของเสียทางการเกษตร (เปลือกกาแฟ กับกากอ้อย) เป็นวัสดุเสริมแรงช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และทางความร้อนของบล็อกคอนกรีต ซึ่งกากอ้อยร้อยละ 5 แทนที่หินบดให้ค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ค่าความแข็งแรงรับแรงอัดสูงสุดและมีคุณสมบัติทางความร้อนตรงตามเกณฑ์มาตรฐานทางการค้าทั้งหมด

อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาของคณะวิจัย พบว่าการใช้เก้าอี้เหล็กแทนที่มวลรวมทำให้มีความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้น้ำหนักเบา มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด แม้ว่าค่าความต้านทานแรงอัดลดลงแต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2560 (พิมพ์ อภิชาติบุตร และ มณีรัตน์ เข้มขาว, 2564) และการใช้เศษเส้นใยกล้วยและเส้นใยสับปะรดที่มีขนาด 12 มม. เป็นวัสดุเสริมร้อยละ 10 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับเสียง (Kongkeaw et al., 2026) อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีตดังกล่าว

ดังนั้น งานวิจัยนี้ทำการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการผลิตบล็อกคอนกรีตทั่วไปเปรียบเทียบกับบล็อกคอนกรีตที่ผสมเก้าอี้เหล็ก และบล็อกคอนกรีตที่ผสมเศษเส้นใยกล้วยและเส้นใยสับปะรด ใช้ระเบียบวิธีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ผลิตภัณฑ์ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์กรมหาชน, อบก) และ ISO 14067 (2018)

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยซีเมนต์ไฮดรอลิกทรายแม่น้ำละเียด หินปูน เส้นใยกล้วย เส้นใยสับปะรด เก้าอี้เหล็กและน้ำประปา ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ใช้มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM C1157 (2008) มีความถ่วงจำเพาะ 2.95 ใช้เป็นสารยึดเกาะ ในขณะที่ทราย แม่น้ำละเียดและหินปูนใช้เป็นมวลรวม มีความถ่วงจำเพาะ 2.45 และ 2.77 ตามลำดับ

เศษใยกล้วยได้รับการสนับสนุนจากผลิตภัณฑ์กล้วยของแม่บ้านวิสาหกิจชุมชนบ้านห้วยทราย (เชียงใหม่ ประเทศไทย) ในขณะที่เศษใยสับปะรดได้มาจากวิสาหกิจชุมชนกระดาศใยสับปะรดบ้านละมอพัฒนา (ประจวบคีรีขันธ์

ประเทศไทย) ตัดเส้นใยให้มีขนาด 12 มม. (Suwansaard, Kongpun, & Khemkhao, 2022)

เก้าอี้เหล็กได้รับความอนุเคราะห์จากโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนและผลิตไฟฟ้า จังหวัดภูเก็ต ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2.2 อัตราส่วนและการเตรียมบล็อกคอนกรีต

บล็อกคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษานี้มี 4 แบบ ได้แก่ (1) บล็อกคอนกรีตทั่วไป ใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์: ทราย: หินปูน ที่ใช้คือ 1: 2: 6 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำประปาร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของมวลรวม (2) บล็อกคอนกรีตเก้าอี้เหล็ก (BA100) จะใช้เก้าอี้เหล็กแทนที่มวลรวมทั้งหมด เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด (พิมพ์ อภิชาติบุตร และ มณีรัตน์ เข้มขาว, 2564) (3) บล็อกคอนกรีตเส้นใยกล้วยร้อยละ 10 (HF10) และ (4) บล็อกคอนกรีตเส้นใยสับปะรดร้อยละ 10 (PF10) จะใช้เศษเส้นใยที่มีขนาด 12 มม. ในสัดส่วนร้อยละ 10 โดยปริมาตรของทราย เนื่องจากให้ค่ากำลังรับแรงอัดและแรงดึงในมอร์ต้าดีกว่ามอร์ต้าควบคุม (Kongkeaw et al., 2026) โดยส่วนผสมแสดงในตารางที่ 1

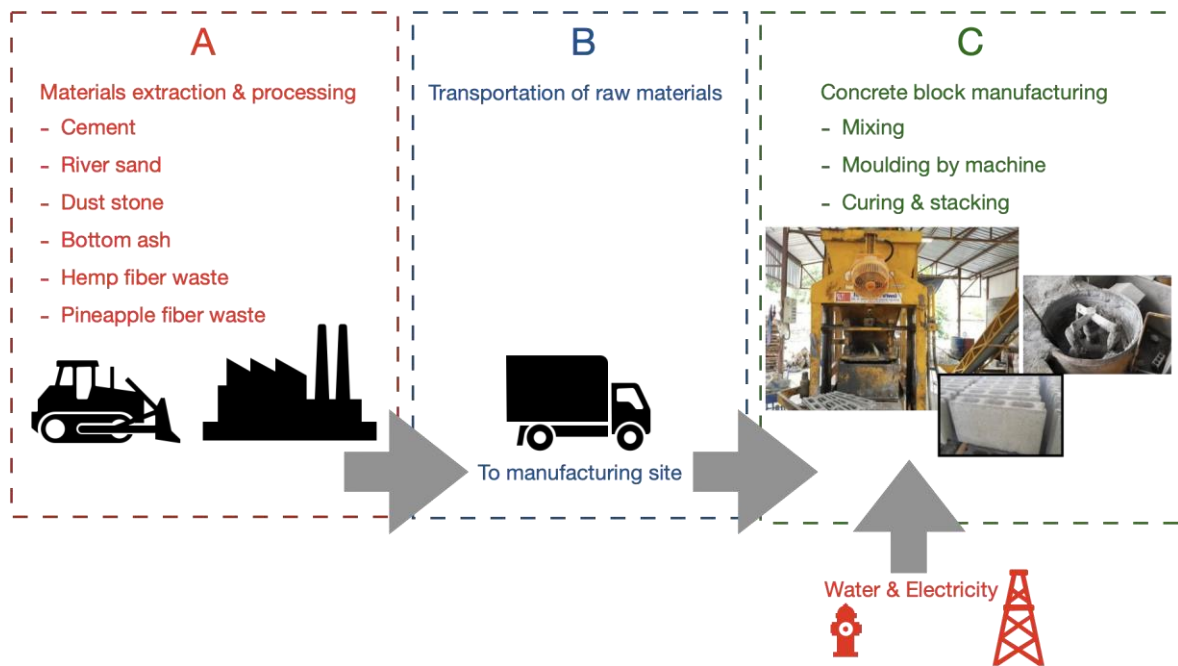
โดยขนาดของบล็อกคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา (ความหนา x ความสูง x ความยาว) คือ 70 x 190 x 390 มม. ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 58-2560 แบบไม่รับน้ำหนัก หลังจากบล็อกคอนกรีตออกจากแบบหล่อแล้วจะบ่มเป็นเวลา 28 วัน ก่อนทำการทดสอบหาความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และกำลังอัดต่อไป (มอก. 58-2560; ASTM C129

2.3 การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีต

2.3.1 เป้าหมาย (Goal) และขอบเขต (Scope)

ส่วนผสมในการผลิตบล็อกคอนกรีตทั้งหมดจะประเมินผลกระทบครอบคลุมกระบวนการตั้งแต่ การได้มาของวัสดุจนถึงกระบวนการผลิตที่โรงงาน (Cradle-to-Gate) ซึ่งจะไม่พิจารณาผลกระทบในช่วงการใช้งานและการกำจัดทำลายซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน ซึ่งทำการประเมินตามมาตรฐาน ISO14067 (2018)

มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO₂e) ของการ



รูปที่ 1 ขอบเขตระบบของการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต

ผลิตบล็อกคอนกรีตทั่วไปเทียบกับบล็อกคอนกรีต B100, HF10 และ PF10 ซึ่งบ่งชี้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เฉพาะประเด็นด้านการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนเท่านั้น

2.3.2 หน่วยการทำงาน (Functional Unit) ของงานวิจัยนี้ คือ การผลิตบล็อกคอนกรีตจากส่วนผสม 1 ลบ.ม. (Ali et al., 2023) โดยจะได้บล็อกคอนกรีตจำนวน 92-94 ก้อน/ลบ.ม. (ตารางที่ 1) จำหน่าย 28,000-30,000 ก้อน/เดือน (Kulsoon et al., 2025)

2.3.3 ขอบเขตระบบ (System boundary)

ขอบเขตการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่การสกัดและแปรรูปวัสดุไปจนถึงการผลิตบล็อกคอนกรีต (Cradle-to-Gate, A-C) ตามมาตรฐาน ISO14067 (2018) โดย A หมายถึง การสกัดและแปรรูปวัสดุหลัก เช่น ปูนซีเมนต์ ทราย หินปูน แก้วหนัก และเศษเส้นใย B หมายถึง การขนส่งวัตถุดิบไปยังโรงงานผลิตบล็อกคอนกรีต และ C หมายถึง กระบวนการผลิตบล็อกคอนกรีต ตั้งแต่การผสมและการหล่อที่โรงงาน สิ้นสุดที่ปลายทางของโรงงานผลิตบล็อกคอนกรีต โดยผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายจะเป็นบล็อกคอนกรีตที่พร้อมใช้งาน (รูปที่ 1)

2.3.4 การผลิตบล็อกคอนกรีต

ใช้อัตราส่วนตามข้อ 2.2 ใช้น้ำประปาในการผสมต่อท่อไปที่เครื่องผสม ในขณะที่เครื่องผสม (รูป 2ก) สำหรับผสมวัตถุดิบใช้น้ำมันดีเซล หลังจากผสมวัตถุดิบแล้ว ลำเลียง

ส่วนผสมด้วยสายพาน (รูป 2ข) ไปยังเครื่องอัดบล็อกคอนกรีต (รูป 2ค) คอนกรีตสดจะถูกขึ้นรูปเป็นบล็อกโดยใช้เครื่องอัดบล็อกคอนกรีตสามารถผลิตได้ 5,000 ก้อน/วัน ใช้น้ำไฟฟ้า หลังจากนำออกจากเครื่องผลิตบล็อกแล้ว (รูป 2ง) บล็อกจะถูกบ่มขึ้นเป็นเวลา 3 วัน แล้วผึ่งลมในที่ร่มจนครบ 28 วัน บล็อกจะถูกจัดเรียงซ้อนกัน และเตรียมจัดส่งโดยไม่ต้องบรรจุหีบห่อ (รูป 2จ)

2.3.5 การจัดทำบัญชีรายการ (Life cycle inventory, LCI) ในการศึกษาที่รวบรวมข้อมูลดังนี้

(1) ข้อมูลปฐมภูมิ อาทิเช่น ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องอัดไฮดรอลิก สายพานลำเลียง หัวเครื่องระบบไฮดรอลิก บัมไฮดรอลิก และมอเตอร์เกียร์ทรอบ ปริมาณการใช้น้ำประปา ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ เช่น ปูนซีเมนต์ทรายแม่น้ำ หินปูน แก้วหนักและเศษเส้นใย (ตารางที่ 1) เพื่อให้ข้อมูลระยะทางการขนส่งเป็นธรรมสำหรับบล็อกคอนกรีตแต่ละประเภท อ้างอิงระยะทางจาก google map โดยสถานที่ตั้งของการผลิตบล็อกคอนกรีตทั่วไป อยู่ที่ตำบลศาลายา จังหวัดนครปฐม บล็อกคอนกรีต HF10 อยู่ที่ตำบลสันผักหวาน จังหวัดเชียงใหม่ บล็อกคอนกรีต PF10 อยู่ที่อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ส่วนโรงงานผลิตบล็อกคอนกรีต BA100 อยู่ที่อำเภอเมืองภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต ซึ่งปูนซีเมนต์ ทรายแม่น้ำและหินปูนรับมาจากแหล่งจำหน่ายท้องถิ่น ดังนั้นระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบถูกพิจารณาโดยใช้ตำแหน่งนี้อ้างอิง (ตารางที่ 2)



(ก)



(ข)



(ค)

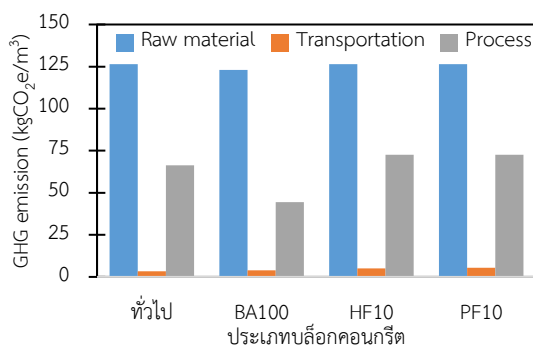


(ง)



(จ)

รูปที่ 2 การผลิตบล็อกคอนกรีต



รูปที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต

(2) ข้อมูลทุติยภูมิ หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission factor, EF) ของกระบวนการสกัด/แปรรูปวัสดุแต่ละชนิด จากการขนส่งของรถแต่ละประเภท จากการใช้ไฟฟ้า น้ำประปา ฯลฯ (ตารางที่ 1) ในการศึกษา ค่า EF ของเถ้าหนัก เศษเส้นใยแก้วและเส้นใยสับปรดจัดเป็นของเสียจึงถือว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์

2.3.6 การคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

$$\text{GHG emission (CO}_2\text{e)} = \text{Activity Data} \times \text{EF} \times \text{GWP} \quad (1)$$

โดย GHG emission คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO₂e); Activity Data คือ ข้อมูลกิจกรรม; EF คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO₂e/หน่วย); GWP คือ ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (GWP100 = 1)

3. ผลลัพธ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าขยะชุมชน

องค์ประกอบทางเคมีเถ้าหนักจากโรงไฟฟ้าขยะชุมชน จังหวัดภูเก็ตแสดงในตารางที่ 3 พบว่า องค์ประกอบทางเคมีหลัก คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) รองลงมาเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) มีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) และออกไซด์ของอัลคาไลต์ (Na₂O, K₂O) เป็นองค์ประกอบที่เหลือ มีค่าความชื้นไม่สูงมากอยู่ที่ร้อยละ 3.14 และมีค่าการสูญเสียจากการจุดระเบิด (loss on ignition, LOI) เท่ากับ 10.10 โดยมีค่า LOI สูงกว่าเถ้าหนักจากถ่านหิน 2.8 เท่า และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 6.3 เท่า ในขณะที่เถ้าหนักจากถ่านหิน มี SiO₂ เป็นองค์ประกอบหลักและมีค่ามากกว่าเถ้าหนักจากขยะมูลฝอยชุมชน อีกทั้งมี Al₂O₃ เป็นองค์ประกอบรองลงมา ตามด้วยเหล็ก(III)ออกไซด์ หรือเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งมี CaO เป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาเป็น SiO₂ และ Al₂O₃ ตามลำดับ

3.2 สมบัติบล็อกคอนกรีต

ลักษณะทั่วไปของบล็อกคอนกรีตลวงไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐาน มอก. 58-2560 ต้องปราศจากรอยแตกร้าว บล็อกคอนกรีตทั่วไปมีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนอยู่ที่ 6.48 กก. มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับบล็อกคอนกรีต HF10 และ PF10 แต่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อก้อนสูงกว่าบล็อกคอนกรีต BA100 อยู่ที่ 1.1 เท่า (ตารางที่ 4) บล็อกคอนกรีตทั่วไปมีความหนาแน่น 2,371.33 ก./ลบ.ซม. ซึ่งน้อยกว่าบล็อกคอนกรีต HF10 และ PF10 ไม่มาก แต่มีค่ามากกว่าบล็อกคอนกรีต BA100 1.3 เท่า การดูดซึมน้ำของบล็อกคอนกรีต BA100 และ PF10 มีค่าสูงสุตร้อยละ 7.79 รองลงมาเป็นบล็อกคอนกรีต HF10 ส่วนบล็อกคอนกรีตทั่วไปมีค่าต่ำสุด ส่วนค่าความต้านทานแรงอัด พบว่า เมื่อมวลรวมถูกแทนที่ด้วยเถ้าหนัก และมีเศษเส้นใยเพิ่มเข้ามามีความต้านทานแรงอัดของบล็อกคอนกรีตลดลง แต่ยังคงมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานของ ASTM C129 (2017) ที่กำหนดไว้ที่ 4.14 MPa และมาตรฐาน มอก. 58-2560 กำหนดไว้ที่ 2.45 MPa

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของบล็อกคอนกรีต

คุณสมบัติ	ทั่วไป	BA100	HF10	PF10
ความหนาแน่น (ก./ลบ.ซม.)	2,371.33 ± 0.26	1,776.08 ± 24.54	2,391.10 ± 0.28	2,390.72 ± 0.22
ความดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	6.47 ± 0.05	7.79 ± 1.17	6.72 ± 0.02	7.79 ± 0.01
ความต้านแรงอัด (MPa)	5.37 ± 0.11	4.31 ± 0.80	4.15 ± 0.19	4.27 ± 0.19
น้ำหนัก (กก./ก้อน)	6.48 ± 0.04	5.85 ± 0.11	6.37 ± 0.03	6.44 ± 0.03

ตารางที่ 5 สัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนจากการผลิตบล็อกคอนกรีต

บล็อกคอนกรีต	ทั่วไป	BA100	HF10	PF10
วัสดุ				
kgCO ₂ e/ก้อน	0.66	0.64	0.66	0.66
kgCO ₂ e/กก.	0.09	0.09	0.10	0.10
การขนส่ง				
kgCO ₂ e/ก้อน	0.02	0.02	0.03	0.03
kgCO ₂ e/กก.	2.55x10 ⁻³	2.88x10 ⁻³	3.88x10 ⁻³	4.17x10 ⁻³
การผลิต				
kgCO ₂ e/ก้อน	0.34	0.23	0.38	0.38
kgCO ₂ e/กก.	0.05	0.03	0.05	0.05

ตารางที่ 6 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีต

บล็อกคอนกรีต	ขนาด (ก x ย x ส) มม.	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก			หมายเหตุ
		(kgCO ₂ e/ลบ.ม.)	(kgCO ₂ e/ก้อน)	(kgCO ₂ e/กก.)	
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	70 x 190 x 390	196.21	1.02	0.15	การศึกษานี้
บล็อกคอนกรีต BA100		171.40	0.89	0.12	
บล็อกคอนกรีต HF10		204.18	1.06	0.15	
บล็อกคอนกรีต PF10		204.56	1.06	0.15	
Concrete block	190 x 190 x 390		1.76		Dahmen et al. (2018)
Architectural concrete block			2.17		
Stabilized soil block			0.95		
Alkali-activated block			1.03		
Control	100 x 60 x 200	357.84			Ali et al. (2023)
GGBS5		344.59			
GGBS10		331.34			
GGBS15		318.09			
GGBS20		304.84			
GGBS25		291.59			
GGBS30		278.34			
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	6"x7"x12"	186.42			Kulsoom et al. (2025)
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	6"x8"x12"	186.76			
บล็อกคอนกรีตทั่วไป	4"x8"x12"	165.19			

หมายเหตุ GGBS คือ ตะกรันเตาหลอมเหล็กบดละเอียดใช้แทนที่ปูนซีเมนต์

3.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต

รูปที่ 3 แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีต มีค่าอยู่ในช่วง 171.40-204.56 kgCO₂e/m³ ซึ่งมาจากวัตถุดิบร้อยละ 62-72 รองลงมาคือกระบวนการผลิตถึงร้อยละ 26-36 ในขณะที่การขนส่งวัสดุคิดเป็นร้อยละ 1.7-2.7 เท่านั้น โดยการบล็อกคอนกรีตที่มีการเพิ่มเส้นใยสับปะรด และเส้นใยกล้วยร้อยละ 10 มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ขณะที่บล็อกคอนกรีตที่มีการผสมเถ้า

หนักแทนที่มวลรวมร้อยละ 100 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด โดยบล็อกคอนกรีตทั่วไป BA100, HF10 และ PF10 จำนวน 1 ก้อน ขนาด 70 x 190 x 390 มม. จะปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1.02, 0.89, 1.06 และ 1.06 kgCO₂e ตามลำดับ หรือคิดเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อ 1 กิโลกรัมได้เท่ากับ 0.15, 0.12, 0.15 และ 0.15 kgCO₂e ตามลำดับ (ตารางที่ 5)

4. การอภิปราย

เมื่อปริมาณ SiO_2 กับ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเถ้าหนักรวมมีร้อยละ 62.10 จึงทำให้มีคุณสมบัติความเป็นวัสดุปอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C618 (2003) ที่กำหนดไว้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 เมื่อรวมเข้ากับ CaO แล้วทำให้มีปริมาณถึงร้อยละ 80.74 โดย SiO_2 มีผลต่อคุณสมบัติเพิ่มความแข็งแรง ส่วน CaO หรือปูนขาวช่วยเพิ่มความแข็งแรง ความทนทาน ความยืดหยุ่น และความสามารถในการทำงาน (Workability) ขณะที่ Al_2O_3 มีคุณสมบัติทนไฟสูง ทนต่อสารเคมี ความหนาแน่นสูง มีความต้านทานต่อการขัดสีและสึกกร่อนสูง

เมื่อปูนซีเมนต์ที่มี CaO และ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลัก ผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ หรือ C-S-H) เป็นสารเชื่อมประสานที่ให้ความแข็งแรงและยึดเกาะวัสดุต่างๆ เข้าด้วยกัน และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาต่อไปได้อีก ดังนั้น SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเถ้าหนักจะเข้าไปทำปฏิกิริยาปอซโซลานกับ Ca(OH)_2 ที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน กลายเป็น C-S-H หรือ แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ หรือ C-A-H) (Dermatas and Meng, 2003; Nalbantoglu, 2004; Guney et al., 2007; Yong & Ouhadi, 2007; Chen & Lin, 2009) ทำให้กำลังรับแรงคอนกรีตหรือปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ช่วยลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลง (Lin and Lin, 2006) และเพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน อย่างไรก็ตาม ในการทดลองนี้ใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมเนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคคล้ายกับทรายและหินฝุ่น (Kou & Poon, 2009; Bai, Darcy & Basheer, 2005)

ความหนาแน่นของบล็อกคอนกรีตแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักของบล็อกคอนกรีต ซึ่งบล็อกคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงจะมีน้ำหนักต่อก่อน ซึ่งบล็อกคอนกรีต BA100 จัดอยู่ในประเภทน้ำหนักปานกลาง (1,680-2,000 กก./ลบ.ม.) ขณะที่บล็อกคอนกรีต HF10 และ PF10 จัดอยู่ในประเภทน้ำหนักทั่วไป (มากกว่า 2,000 กก./ลบ.ม.) (มอก. 58-2560)

ค่าการดูดซึมของบล็อกคอนกรีตเมื่อแทนที่มวลด้วยเถ้าหนัก และบล็อกคอนกรีตที่มีการใส่เส้นใยแก้วและเส้นใยสับปะรมีค่าสูงกว่าบล็อกคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากเถ้า

หนักมีรูพรุนและเส้นใยทำให้ดูดน้ำมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงอัด เมื่อเถ้าหนักและเส้นใยดูดน้ำมากขึ้น ทำให้เหลือน้ำน้อยลงเพื่อสร้างเจลแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Islam et al., 2024) จึงส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงอัด ทำให้มีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม บล็อกคอนกรีต BA HF10 และ PF10 ยังอยู่ในมาตรฐานของมอก. 58-2560 และ ASTM C129 (2017) ดังนั้นหากนำไปใช้งานจริงสามารถใช้สำหรับก่อผนังเบาไม่รับน้ำหนักหรือก่อกำแพงไม่รับน้ำหนัก

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบล็อกคอนกรีตขนาด $70 \times 190 \times 390$ มม. น้ำหนักไม่เกิน 7 กก. มาจากการสกัดและแปรรูปวัสดุ โดยเฉพาะปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในการผลิตบล็อกคอนกรีต เนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด (ร้อยละ 60-72 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด) เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินและกระบวนการเผาไหม้สำหรับหินปูน (Hossain, Poon, & Cheng, 2017; Celik et al. 2015) อีกทั้งการใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักรในการผลิตบล็อกคอนกรีตส่งผลให้มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง เนื่องจากประมาณร้อยละ 80 ของการผลิตไฟฟ้าในไทยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล

เมื่อบล็อกคอนกรีตใช้เถ้าหนักแทนที่มวลรวมทั้งหมด ทำให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงร้อยละ 12.77 ส่วนบล็อกคอนกรีตที่ผสมเส้นใยแก้วและเส้นใยสับปะรมีร้อยละ 10 ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.98-3.95 ซึ่งมาจากการใช้น้ำประปาในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นใยมีการดูดน้ำและการขนส่งเศษเส้นใย ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากบล็อกคอนกรีตในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Kulsoom et al. (2025) ที่ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีตที่มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาด ได้แก่ $6'' \times 7'' \times 12''$, $6'' \times 8'' \times 12''$ และ $4'' \times 8'' \times 12''$ มีค่าอยู่ในช่วง 185.19-186.76 และ kgCO_2e เนื่องจากใช้ปั๊มและเครื่องผสมใช้เชื้อเพลิงดีเซล (ตารางที่ 6)

ในงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้เถ้าลอย (Chowdhury et al., 2025) และ เถ้าฟางข้าว (Sathiparan & Subramaniam, 2025) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน หรือใช้มวลรวมรีไซเคิล ซึ่ง

นอกจากช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตบล็อกคอนกรีตได้ ยังทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้

ซึ่งผลจากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการศึกษานี้แบบ Cradle-to-Gate ยังไม่สามารถใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ด้านอายุการใช้งาน หรือรูปแบบการจัดการปลายทางแตกต่างกันได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากไม่ครอบคลุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในช่วงการใช้งาน และช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งาน (end-of-life) เช่น การซ่อมบำรุง อายุการใช้งานจริง การรีไซเคิล การรีไซเคิล หรือการกำจัดของเสีย โดยเฉพาะกรณีวัสดุที่อาจมีพฤติกรรมแตกต่างกันในระยะยาว เช่น วัสดุผสมเส้นใยชีวภาพซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการกักเก็บคาร์บอนทางชีวภาพ การเสื่อมสภาพ หรือศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่

5. บทสรุป

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์บล็อกคอนกรีตที่เริ่มจากการกระบวนการสกัดและแปรรูปวัสดุ การขนส่งวัสดุ และกระบวนการผลิตบล็อกคอนกรีต 1 ลบ.ม. ขนาด 70 x 190 x 390 มม. น้ำหนักไม่เกิน 7 กก. ตามมาตรฐาน มอก. 58-2560 บล็อกคอนกรีตลงไม่รับน้ำหนักที่มีค่ากำลังอัดอยู่ที่ 4.15-5.37 MPa มีความหนาแน่นจัดอยู่ในบล็อกคอนกรีตทั่วไป ที่อายุ 28 วัน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของบล็อกคอนกรีตทั่วไป BA100, HF10 และ PF10 อยู่ที่ 194.86, 169.97, 202.45 และ 202.56 kgCO₂e ตามลำดับ การใช้เกณฑ์แทนที่มวลรวมสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 12.77

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนบ้านห้วยทราย จังหวัดเชียงใหม่ วิสาหกิจชุมชนกระต่ายไสบ่ดบ้านละมอพัฒนา จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และโรงเผาขยะมูลฝอยชุมชนและผลิตไฟฟ้า จังหวัดภูเก็ต สำหรับตัวอย่างเศษเส้นใยกัญชง เศษเส้นใยไสบ่ด และเกณฑ์ ตามลำดับ งานวิจัยนี้บางส่วนได้รับงบประมาณอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริมววน.) และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ คำรับรองเลขที่ FF68037/2568

เอกสารอ้างอิง

- Akhtar, M. N., & Malkawi, D. A. H. (2025). Sustainable Concrete Hollow Blocks Using Composite Waste Replacing Fired Clay Bricks-An Experimental Study. *Sustainability*, 17(24), 10963.
- Apichatabut, P. & Khem-khao, M. (2021). Feasibility Study on Using Bottom Ash for Heat-Insulating Concrete Blocks (Case Study: Phuket Community Waste Incinerator)., In *The 39th Conference of Industrial Engineering Network 2021* (p. 993-999). Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya. (In Thai)
- Aranyasen, S., Srinavin, K., Aksorn, P., & Kusonkhum, W., (2021). Comparison of Carbon Dioxide Emissions (CO₂-e) Produced Between Ordinary Concrete Production and Geopolymer Concrete for Environmentally Friendly Construction Industry by Using Life Cycle Assessment Methods. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 21(4), 71-82.
- ASTM. (2003). *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete* (ASTM C168) USA: ASTM International.
- ASTM. (2008). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement* (ASTM C1157-08a) USA: ASTM International.
- ASTM. (2017). *Standard Specification for Nonloadbearing Concrete Masonry Units* (ASTM C129) USA: ASTM International.
- Bai, Y., Darcy, F., & Basheer, P. A. M. (2005). Strength and drying shrinkage properties of concrete containing furnace bottom ash as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 19, 691-697.
- Celik, K., Meral, C., Gursel, A. P., Mehta, P. K., Horvath, A., & Monteiro, P. J. (2015). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of self-consolidating concrete mixtures made with blended portland cements containing fly ash and limestone powder. *Cement and Concrete Composites*, 56, 59-72.
- Chen, L., & Lin, D-F., (2009). Stabilization treatment of soft subgrade soil by sewage sludge ash and cement. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 321-327.
- Chowdhury, J. A., Islam, M. S., Islam, M. A., Al Bari, M. A., & Debnath, A. K. (2025). Analysis of mechanical properties of fly ash and boiler slag integrated geopolymer composites. *Sustain. Struct.*, 5(2), 000073.
- Dahmen, J., Kim, J., & Ouellet-Plamondon, C. M. (2018). Life cycle assessment of emergent masonry blocks. *Journal of cleaner production*, 171, 1622-1637.
- Dermatas, D., & Meng, X. (2003). Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology*, 70(3-4), 377-394.
- Freedonia. (2016). *World Construction Aggregates - Demand and Sales Forecasts, Market Share, Market Size, Market Leaders, Industry Study No. 3389*. the Freedonia group, Cleveland, Ohio, USA 390 p.
- Furr, J. E. (Ed.). (2009). *Green building and sustainable development: The practical legal guide*. American Bar Association.
- Guney, Y., Sari, D., Cetin, M., & Tuncan, M. (2007). Impact of cyclic wetting-drying on swelling behavior of lime-stabilized soil. *Building and Environment*, 42(2), 681-688.

- Hossain, M. U., Poon, C. S., Lo, I. M., & Cheng, J. C. (2017). Comparative LCA on using waste materials in the cement industry: A Hong Kong case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 120, 199-208.
- Islam, S. R., Majumder, S. N., & Mutsuddy, R. (2024). Life cycle assessment and mechanical strength of cement composites with conventional and recycled fine aggregate. *Sustainable Structures*, 4, 000052.
- ISO. (2018). *Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification*. International Organization for Standardization (ISO 14067: 2018). International Organisation for Standardisation.
- Kongkeaw, K., Khemkhao, M., & Suwansaard, A. (2026). Comparative Experimental Study between Hemp and Pineapple Fiber Wastes as Additional Materials to Improve Acoustic Performance in Concrete Blocks. *Applied Science and Engineering Progress*, 19(1), 7881-7881.
- Kou, S. C., & Poon, C. S. (2009). Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash and fine recycled aggregate as fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2877-2886.
- Kulsoom, K., Shahzada, K., Noor, U. A., & Xin, R. (2025). Embodied carbon in masonry units: A comparative analysis of brick and concrete block production in Pakistan and the UK. *Energy and Buildings*, 116298.
- Kurad, R., Silvestre, J. D., de Brito, J., & Ahmed, H. (2017). Effect of incorporation of high volume of recycled concrete aggregates and fly ash on the strength and global warming potential of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 166, 485-502.
- Kurda, R., Silvestre, J. D., & de Brito, J. (2018). Life cycle assessment of concrete made with high volume of recycled concrete aggregates and fly ash. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 407-417.
- Lin, K. L., & Lin, D. F. (2006). Hydration characteristics of municipal solid waste incinerator bottom ash slag as a pozzolanic material for use in cement. *Cement and Concrete Composites*, 28(9), 817-823.
- Marinković, S., Radonjanin, V., Malesev, M., et al. (2010). Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Management*, 30(11), 2255-2264.
- Nalbantoğlu, Z. (2004). Effectiveness of class C fly ash as an expansive soil stabilizer. *Construction and Building Materials*, 18(6), 377-381.
- NRMCA. (2014). *NRMCA Member Industry-wide EPD for Ready Mixed Concrete*. Program Operator: NSF International Certified. (NRMCAEPD 10046). Declaration Holder: the National Ready Mixed Concrete Association.
- Pushkar, S. (2019). The effect of different concrete designs on the life-cycle assessment of the environmental impacts of concretes containing furnace bottom-ash instead of sand. *Sustainability*, 11(15), 4083.
- Reber, A. P. (2009). Taking the LEED: Determining the Appropriate Amount of Government Regulation in Green Building Projects. *Ky. LJ*, 98, 573.
- Salas, D. A., Ramirez, A. D., Ulloa, N., Baykara, H., & Boero, A. J. (2018). Life cycle assessment of geopolymers concrete. *Construction and Building Materials*, 190, 170-177.
- Sathiparan, N., & Subramaniam, D. N. (2025). Optimizing fly ash and rice husk ash as cement replacements on the mechanical characteristics of pervious concrete. *Sustainable Structures*, 5.
- Sathiparan, N., Jaasim, J. H. M., & Banujan, B. (2022). Sustainable production of cement masonry blocks with the combined use of fly ash and quarry waste. *Materialia*, 26, 101621.
- Sentman, S. D., Del Percio, S. T., & Koerner, P. (2008). A climate for change: Green building policies, programs, and incentives. *Journal of green building*, 3(2), 46-63.
- Shaikh, S. A., Rajpurohit, K., Pandey, A. K., & Bağla, H. K. (2025). Engineering Portland cement and concrete with agricultural-origin functional additives: Valorization of agro-waste. *Next Sustainability*, 6, 100173.
- Souza, A. B., Ferreira, H. S., Vilela, A. P., Viana, Q. S., Mendes, J. F., & Mendes, R. F. (2021). Study on the feasibility of using agricultural waste in the production of concrete blocks. *Journal of Building Engineering*, 42, 102491.
- Suwansaard, A., Kongpun, T., & Khemkhao, M., (2022). Properties of mortars mixed with polystyrene and hemp fiber wastes. *Applied Science and Engineering Progress*, 15(1). <https://doi.org/10.14416/j.asep.2021.09.004>
- Tait, M. W., & Cheung, W. M. (2016). A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of three concrete mix designs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(6), 847-860.
- Tošić, N., Marinković, S., Dašić, T., & Stanić, M. (2015). Multicriteria optimization of natural and recycled aggregate concrete for structural use. *Journal of cleaner production*, 87, 766-776.
- Yong, R. N., & Ouhadi, V. R. (2007). Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement-stabilized clayey soils. *Applied clay science*, 35(3-4), 238-249.
- Zhang, J., Fernando, S., Law, D. W., Gunasekara, C., Setunge, S., Sandanayake, M., & Zhang, G. (2023). Life cycle assessment for geopolymers concrete bricks using brown coal fly ash. *Sustainability*, 15(9), 7718. <https://doi.org/10.3390/su15097718>

ผลของ CBD และสารในกลุ่ม Terpene จากกัญชาสายพันธุ์ *Cannabis sativa* L. (Hang Kra Rog Phu Phan ST1) ต่อการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์ในการลดอัตราการตายของเซลล์ SH-SY5Y ที่เกิดจาก Amyloid- β ₁₋₄₂

ปฐมพร เอมใจ¹, นันทชัย หาญประมุขกุล², ชัชวาล สิงหะพล^{1,3*}

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย

² วิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต จังหวัดปทุมธานี 12000 ประเทศไทย

³ ศูนย์ปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพและเคมีชีวภาพ อุทยานเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: Chatchawan.s@sci.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.005

รับเมื่อ 23 กันยายน 2568 แก้ไขเมื่อ 11 เมษายน 2569 ตอบรับเมื่อ 21 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

ภาวะสมองเสื่อมเป็นสภาวะที่พบได้บ่อยในผู้สูงอายุ โดยเฉพาะโรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's Disease) ซึ่งมีพยาธิสภาพหลักจากการสะสมของ Amyloid- β (A β) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาท และการเกิดการเติมหมู่ฟอสเฟตมากเกินไปบนโปรตีน Tau (Tau hyperphosphorylation) นำไปสู่การอักเสบและการตายของเซลล์สมอง ปัจจุบันมีการศึกษาสารสำคัญต่างๆ เพื่อนำมาพัฒนาเป็นยา หรือสารเสริมฤทธิ์ (Adjuvant) เพื่อช่วยลดการอักเสบหรือการตายของเซลล์ การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสาร Cannabidiol (CBD) ร่วมกับเทอร์พีน 3 ชนิด ได้แก่ α -Pinene, Linalool และ β -Caryophyllene ในการเป็นสารเสริมฤทธิ์เพื่อลดผลกระทบจากการสะสมของ A β ₁₋₄₂ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญหนึ่งของโรคอัลไซเมอร์ จากการทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมด้วยวิธี MTT assay ในเซลล์ SH-SY5Y ที่เกิดการสะสมของ Amyloid- β พบว่าความเข้มข้นที่ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษของ CBD, α -Pinene, Linalool อยู่ที่ 150 μ M และ β -Caryophyllene อยู่ที่ 100 μ M เมื่อทดสอบการเสริมฤทธิ์ในสภาวะจำลองโรคของสารต่อเซลล์ SH-SY5Y ทั้งในสภาวะก่อนและหลังเกิดการสะสมของ Amyloid- β ₁₋₄₂ พบว่า การใช้ CBD ร่วมกับ α -Pinene และ CBD ร่วมกับ Linalool มีประสิทธิภาพในการลดอัตราการตายของเซลล์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) เมื่อใช้ในสภาวะหลังการสะสมของ A β ₁₋₄₂ (Curative effect) แต่การใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีนทั้ง 3 ชนิด ก่อนเกิดการสะสมของ A β ₁₋₄₂ ไม่สามารถป้องกันหรือลดอัตราการตายของเซลล์ (Preventive effect) เมื่อเกิดการสะสมของ A β ₁₋₄₂ ได้ นอกจากนี้ การใช้ CBD ร่วมกับ β -Caryophyllene หรือการใช้สารเสริมมากกว่า 2 ชนิดร่วมกัน กลับเพิ่มความเป็นพิษต่อเซลล์ และทำให้อัตราการตายของเซลล์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น การใช้สารสำคัญจากสารสกัดกัญชาเพื่อลดอัตราการตายของเซลล์สมองจากการสะสมของ Amyloid- β จึงอาจมีข้อจำกัดในการใช้ และควรศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสม รวมถึงชนิดของสารเสริมที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาการใช้กัญชาเป็นทางเลือกในการรักษาโรคอัลไซเมอร์อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยในอนาคต

คำสำคัญ: โรคอัลไซเมอร์, CBD, Terpene, การรักษาและป้องกัน, การตายของเซลล์จาก Amyloid- β ₁₋₄₂

การอ้างอิงบทความ: ปฐมพร เอมใจ, นันทชัย หาญประมุขกุล และ ชัชวาล สิงหะพล, “ผลของ CBD และสารในกลุ่ม Terpene จากกัญชาสายพันธุ์ *Cannabis sativa* L. (Hang Kra Rog Phu Phan ST1) ต่อการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์ในการลดอัตราการตายของเซลล์ SH-SY5Y ที่เกิดจาก Amyloid- β ₁₋₄₂,” *Journal of Applied Science and Emerging Technology*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, หน้า 1-11, เลขที่บทความ 264081, เมษายน 2569

Neuroprotective Potential of CBD and Terpenes from *Cannabis sativa* L. (Hang Kra Rog Phu Phan ST1) on the Potentiation or Antagonism of Amyloid- β_{1-42} -Induced Apoptosis in SH-SY5Y Neuroblastoma Cells

Pathomporn Eamjai¹, Nuntachai Hanpramukkun², Chatchawan Singhapol^{1,3*}

¹ Department of Biotechnology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 10800, Thailand

² College of Pharmacy, Rangsit University, Pathum Thani, 12000, Thailand

³ Biotechnology and Biochemistry Center (BtBc), Technopark, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 10800, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: Chatchawan.s@sci.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.005

Received 23 September 2025; Revised 11 April 2026; Accepted 21 April 2026

ABSTRACT

Dementia, particularly Alzheimer's Disease (AD), is characterized by the extracellular accumulation of Amyloid- β ($A\beta$) and intracellular Tau hyperphosphorylation, both of which trigger neuroinflammation and neuronal apoptosis. This study investigated the efficacy of Cannabidiol (CBD) combined with three terpenes including α -Pinene, Linalool, and β -Caryophyllene as potential adjuvants to mitigate $A\beta_{1-42}$ -induced neurotoxicity. Using the MTT assay on SH-SY5Y neuroblastoma cells, the optimal non-toxic concentrations were determined to be 150 μ M for CBD, α -Pinene, and Linalool, and 100 μ M for β -Caryophyllene. Synergistic testing revealed that the combination of CBD with α -Pinene and CBD with Linalool significantly reduced cell mortality ($p < 0.01$) when administered post- $A\beta_{1-42}$ accumulation, demonstrating a potential curative effect. However, pre-treatment with these combinations failed to provide a preventive effect against subsequent $A\beta_{1-42}$ insult. Notably, the combination of CBD with β -Caryophyllene, or the administration of more than two compounds simultaneously, resulted in increased cytotoxicity and significantly higher rates of cell death. These findings suggest that while certain cannabinoid-terpene combinations offer therapeutic potential, their application is limited by specific chemical interactions and timing. Further research into precise formulations and intervention windows is essential to develop safe and effective cannabis-based treatments for Alzheimer's Disease

KEYWORDS: Alzheimer, CBD, Terpenes, Prevention and Treatment, Cellular Apoptotic from amyloid- β_{1-42} .

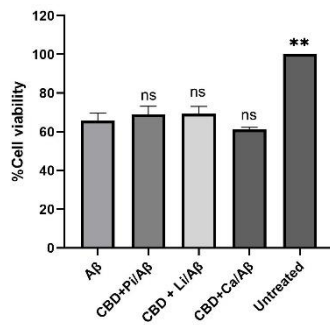
Please cite this article as: P. Eamjai, N. Hanpramukkun, C. Singhapol, "Neuroprotective Potential of CBD and Terpenes from Cannabis sativa L. (Hang Kra Rog Phu Phan ST1) on the Potentiation or Antagonism of Amyloid- β_{1-42} -Induced Apoptosis in SH-SY5Y Neuroblastoma Cells," *Journal of Applied Science and Emerging Technology*, vol 25, no 1, pp. 1-11, ID. 264081, April 2026 (in Thai).

1. บทนำ

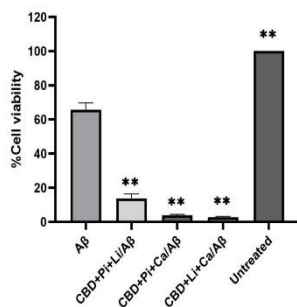
โรคอัลไซเมอร์เป็นโรคสมองเสื่อมที่พบได้บ่อยที่สุดถึง 60-70% ของผู้ป่วยสมองเสื่อมทั้งหมด (Greeley และคณะ, 2025) ซึ่งเกิดจากความเสื่อมของเซลล์ประสาทในสมอง มักพบในผู้สูงอายุซึ่งสาเหตุที่แน่ชัดยังไม่ทราบว่าจะเกิดขึ้นได้อย่างไร ผู้สูงอายุที่ไม่มีความบกพร่องทางสติปัญญาประมาณ 30% มีพยาธิสภาพของโรคอัลไซเมอร์และมีแนวโน้มที่จะเป็นโรคอัลไซเมอร์ภายใน 5-10 ปี (Ali et al., 2025) อาการของการเกิดโรคมักเริ่มจากอาการที่ไม่สามารถจดจำความทรงจำในระยะสั้นได้ สมาธิลดลง พูดคำซ้ำๆ ไม่สามารถจดจำเส้นทางได้ อารมณ์แปรปรวน เกิดภาวะซึมเศร้า วิดกกังวล ไม่สามารถจดจำบุคคลที่เคยรู้จักได้ จนถึงเกิดการสับสนเรื่องเวลาและมีปัญหาด้านการสื่อสาร เป็นต้น ปรากฏการณ์ที่สำคัญที่มักเกิดขึ้นของโรคนี้ คือ การสะสมของ Beta-Amyloid Protein เกิดจาก Amyloid precursor protein (APP) ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่เซลล์ประสาทผลิต ถูกตัดโดยเอนไซม์ β -secretase และ γ -secretase กลายเป็นโปรตีนสายสั้นที่มีกรดอะมิโน 37-43 ตัว เรียกว่า Amyloid- β ($A\beta_{1-42}$) สะสมที่บริเวณชั้น lipid bilayer ของเยื่อหุ้มเซลล์ประสาท (Cell membrane) (Beltrami et al., 2025) ทำให้เกิดการอักเสบของเซลล์ และในระยะท้ายของโรคมักเกิดการสะสมของอนุโมลิอิสระ กระตุ้นให้โปรตีน Tau ถูกเติมหมู่ ฟอสเฟตมากเกินไป (Tau hyperphosphorylation) (Doering et al., 2024; Kim et al., 2025) ทำให้เกิดการตายของเซลล์สมอง นำไปสู่สถานะของโรคอัลไซเมอร์และเกิดการเสียชีวิตในที่สุด ทั้งนี้ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นๆที่อาจร่วมส่งเสริมให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ เช่น ปัจจัยด้านอายุ โดยอายุที่มากขึ้นอาจส่งผลให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคอัลไซเมอร์สูงขึ้น ปัจจัยด้านพันธุกรรม โดยพบว่าหากมีประวัติในครอบครัวป่วยด้วยโรคอัลไซเมอร์ จะมีความเสี่ยงในการเกิดโรคสูงกว่า หรือ โรคอื่นๆที่อาจเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคอัลไซเมอร์ เช่น โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคดาวน์ซินโดรม ในปัจจุบันการรักษาโรคอัลไซเมอร์ยังไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ ทำได้เพียงการชะลอการเกิดโรคเท่านั้น

กัญชา หรือ *Cannabis* เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในบริเวณเอเชียกลาง เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ลำต้นสูงประมาณ 2-4 ฟุต ใบมีลักษณะเป็นแฉก ปลายใบมีลักษณะมน ที่ขอบใบเป็นรอยหยัก พบได้ทั่วไปในเขตอบอุ่นและเขตร้อน

มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี กัญชาประกอบด้วย 3 สายพันธุ์หลักคือ *Sativa*, *Indica* และ *Ruderalis* (Tendwa et al., 2025) ซึ่งมีความต่างทั้งลักษณะลำต้น ใบ และดอก นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบทางเคมีมากกว่า 500 ชนิด โดยเฉพาะกลุ่มแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) เทอร์พีน (Terpenes) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) (El-Hammadi et al., 2025) โดยที่สายพันธุ์ *Indica* จะพบ CBD ในปริมาณมากที่สุด ส่วนในสายพันธุ์ *Sativa* จะพบปริมาณ THC ที่มากที่สุด ส่วน *Ruderalis* จะพบปริมาณ CBD และ THC ที่น้อยจึงมักถูกใช้ในการนำมาสวมข้ามสายพันธุ์กับ *Indica* และ *Sativa* เพื่อปรับปรุงสายพันธุ์ สารสำคัญที่พบในกัญชานอกจาก THC และ CBD ที่มีคุณสมบัติในการฤทธิ์ด้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ และด้านการตายของเซลล์อย่างมีประสิทธิภาพ (Yang et al., 2025) ยังมีสารในกลุ่มเทอร์พีน (Terpenes) ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลิ่นในพืช พบได้มากในดอกกัญชา โดยพบเทอร์พีนได้มากกว่า 150 ชนิด เทอร์พีนที่พบได้มากในกัญชาได้แก่ ไมร์ซีน (Myrcene), ลิโมนีน (Limonene), ไพนีน (Pinene), ไลนาลูล (Linalool), คาริโอฟิลลีน (Caryophyllene), ฮิวมิลีน (Humulene) และ เทอร์ปีโนลีน (Terpinolene) กลิ่นจากเทอร์พีนมักถูกนำมาใช้เพื่อการผ่อนคลาย ความเครียด อีกทั้งเทอร์พีนหลายชนิดสามารถออกฤทธิ์ในด้านอื่น ๆ เช่น การลดการอักเสบ, ต้านอนุมูลอิสระ, ต้านมะเร็ง, ต้านแบคทีเรียและเชื้อรา และ เป็นสารขับไล่แมลง เป็นต้น (Levy et al., 2025) นอกจากนี้สารประกอบต่างๆ ในกัญชายังมีการทำงานร่วมกันในลักษณะฤทธิ์เสริม (Synergistic effect) หรือที่รู้จักกันในชื่อ "Entourage effect" ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาและลดผลข้างเคียงของสารเดี่ยว เช่น CBD สามารถออกฤทธิ์ต้าน (Antagonistic effect) เพื่อลดอาการไม่พึงประสงค์จาก THC ได้ ในขณะที่เทอร์พีนบางชนิดจะช่วยเสริมฤทธิ์การต้านอักเสบให้ดียิ่งขึ้น (Li et al., 2022) ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงศึกษาการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์ของสารสกัดจากกัญชา ประกอบด้วย CBD, α -Pinene, Linalool และ β -Caryophyllene ต่อการลดอัตราการตายของเซลล์ (Cellular Apoptosis) และปริมาณการสะสมของ $A\beta$ ในเซลล์ SH-SY5Y (Neuroblastoma) ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดสถานะของโรคอัลไซเมอร์จากการสะสมของ $A\beta_{1-42}$ ทั้งในสถานะทั้งก่อนและหลังการสะสมของ $A\beta_{1-42}$



รูปที่ 1 กราฟแสดงผลของ CBD ร่วมกับ Terpene 1 ชนิดต่ออัตราการรอดชีวิตของเซลล์จาก Aβ₁₋₄₂ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ และเซลล์ควบคุม Aβ : คือเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , CBD+Pi/Aβ : เซลล์ที่ได้รับ CBD และ α-pinene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , CBD+Li/Aβ : เซลล์ที่ได้รับ CBD และ Linalool แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , CBD+Ca/Aβ : เซลล์ที่ได้รับ CBD และ β-caryophyllene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p >0.05, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p ≤0.05, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p ≤0.01)



รูปที่ 2 กราฟแสดงผลของ CBD ร่วมกับ Terpene 2 ชนิดต่ออัตราการรอดชีวิตของเซลล์จาก Aβ₁₋₄₂ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ และเซลล์ควบคุม Aβ : คือเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , CBD+Pi+Li/Aβ : เซลล์ที่ได้รับ CBD, α-pinene และ Linalool แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , CBD+Pi+Ca/Aβ : เซลล์ที่ได้รับ CBD, α-pinene และ β-caryophyllene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , CBD+Li+Ca/Aβ : เซลล์ที่ได้รับ CBD, Linalool และ β-caryophyllene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ , Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p >0.05, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p ≤0.05, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p ≤0.01)

2. วัสดุและวิธีการ

2.1 เพาะเลี้ยงเซลล์

ขั้นตอนการทดลองทั้งหมดได้รับการพิจารณาทบทวนโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย ศูนย์ปฏิบัติการ

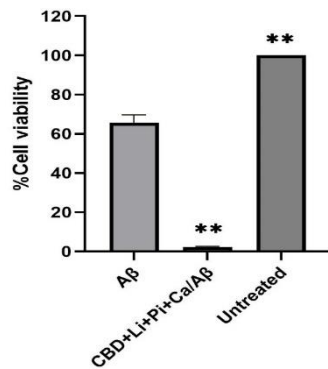
เทคโนโลยีชีวภาพและเคมีชีวภาพอุทยานเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เซลล์ SH-SY5 Y human neuroblastoma cell lines (ATCCCL-2266) ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากคลังเซลล์เพื่อการเรียนการสอนของภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การดำเนินการเพาะเลี้ยงเซลล์ทั้งหมดเป็นไปตามแนวทางความปลอดภัยทางชีวภาพและโปรโตคอลสำหรับการวิจัยในหลอดทดลอง Cannabidiol (CBD) ที่ใช้ในการทดลองได้รับความสนับสนุนจากวิทยาลัยเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต α-Pinene (P-450-1), Linalool (P-1120-1) และ β-Caryophyllene (P-610-1) จากบริษัท Agilent Technologies (Santa Clara, CA, USA) เซลล์ได้รับการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเซลล์ Dulbecco's modified Eagle's medium (DMEM) ถูกเสริมด้วย fetal bovine serum (FBS) 10%, penicillin/streptomycin 100 U/ml 1%, และ L-Glutamine 1% เลี้ยงที่อุณหภูมิ 37°C ในบรรยากาศที่มีความชื้นและ CO₂ 5%

2.2 ทดสอบการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์ของสารสกัดจากกัญชาต่อการป้องกันเซลล์จากการตายโดยโปรตีน Aβ₁₋₄₂

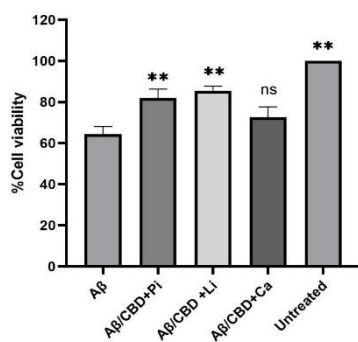
หลังจากเลี้ยงเซลล์จนความหนาแน่น 80-90% แล้วเซลล์จะถูก sub culture ลงใน 96 well plate จำนวน 20,000 เซลล์ต่อหลุม จากนั้นนำไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37°C ในบรรยากาศที่มีความชื้นและ CO₂ 5% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทดสอบโดยสารสกัดจากกัญชา (CBD 150 μM, α-Pinene 150 μM, Linalool 150 μM และ β-Caryophyllene 100 μM) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วจึงทดสอบโดย Aβ₁₋₄₂ 10 μM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.3 ทดสอบการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์ของสารสกัดจากกัญชาต่อการรักษาเซลล์หลังจากการกระตุ้นการตายโดยโปรตีน Aβ₁₋₄₂

หลังจากเลี้ยงเซลล์จนความหนาแน่น 80-90% แล้วเซลล์จะถูก sub culture ลงใน 96 well plate จำนวน 20,000 เซลล์ต่อหลุม จากนั้นนำไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 37°C ในบรรยากาศที่มีความชื้นและ CO₂ 5% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทดสอบโดยเติม Aβ₁₋₄₂ 10 μM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงทดสอบโดยสารสกัดจากกัญชา (CBD 150



รูปที่ 3 กราฟแสดงผลแสดงผลของ CBD ร่วมกับ Terpene 3 ชนิดต่ออัตราการรอดชีวิตของเซลล์จาก Aβ1-42 เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ1-42 และเซลล์ควบคุม Aβ : คือเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ1-42 , CBD+Li+Pi+Ca/Aβ : เซลล์ที่ได้รับ CBD, Linalool, α-pinene และ β-caryophyllene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ1-42 , Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)



รูปที่ 4 กราฟแสดงผลของ CBD ร่วมกับ Terpene 1 ชนิดต่ออัตราการรอดชีวิตของเซลล์จากการตายที่ถูกเหนี่ยวนำโดย Aβ1-42 เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ1-42 และเซลล์ควบคุม Aβ : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้แสดงสภาวะของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดจาก Aβ1-42, Aβ /CBD+Pi : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ1-42 แล้วจึงได้รับ CBD และ α-pinene, Aβ /CBD+Li : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ1-42 แล้วจึงได้รับ CBD และ Linalool, Aβ /CBD+Ca : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ1-42 แล้วจึงได้รับ CBD และ β-caryophyllene, Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)

μM, α-Pinene 150 μM, Linalool 150 μM และ β-Caryophyllene 100 μM) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4 อัตราการรอดชีวิตของเซลล์

เมื่อครบตามเวลาที่ทดสอบในหัวข้อที่ 2.2 และ 2.3 แล้วจึงวัดอัตราการรอดชีวิตของเซลล์โดยวิธี MTT assay เริ่มต้น

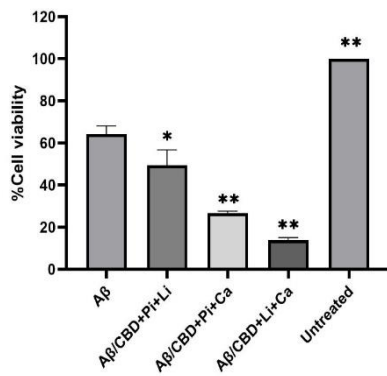
จากการดูดสารออกจาก 96 well plate แล้วใส่สารละลาย MTT 100 μl นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37°C ในบรรยากาศที่มีความชื้นและ CO₂ 5% ในที่มีดเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาแล้วดูดสารละลาย MTT ออกแล้วละลายผลึก formazan ด้วย DMSO 100 μl จากนั้นจึงวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 nm ด้วยเครื่อง Microplate Reader (Molecular Devices SpectraMax iD5, USA) โดยข้อมูลจะถูกแสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์อัตราการรอดชีวิตของเซลล์ (% Cell Viability) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกกระตุ้นด้วย Aβ₁₋₄₂ตามสูตรการคำนวณมาตรฐาน

2.5 วัดปริมาณ Amyloid-β ด้วยเทคนิค cytochemistry staining

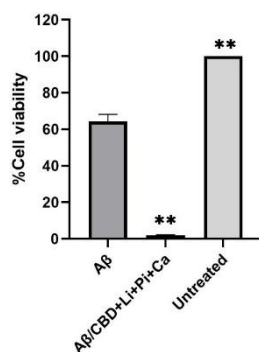
หลังจากการทดสอบอัตราการรอดชีวิตของเซลล์แล้วจึงทดสอบการสะสมของ Aβ โดยเลี้ยงเซลล์บน cover slide ใน 12 well plate ในปริมาณ 100,000 เซลล์ต่อหลุมตามระยะเวลาในหัวข้อที่ 2.2 และ 2.3 จากนั้นดูดสารออกแล้วตรึงเซลล์โดยเติม 1 ml ของ 4% Paraformaldehyde นำไปล้างบน shaker เพื่อให้ Paraformaldehyde สัมผัสกับเซลล์อย่างทั่วถึงเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นล้างเซลล์ด้วย PBS 1 ml ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วจึงย้อมสีเซลล์ด้วย Congo red 1 ml นำไปล้างบน shaker เพื่อให้ Congo red สัมผัสกับเซลล์อย่างทั่วถึงเป็นเวลา 3 นาที แล้วจึงหยด Immersion oil และย้อม DAPI ลงบนสไลด์ นำ cover slide ที่มีเซลล์ที่ย้อมสีแล้วมาวางบน slide แล้วจึงปิดขอบ slide แล้วนำไปทดสอบความเข้มของสีที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Nikon Eclipse Ci-L Plus, Japan) แล้วนำไปประมวลผลโดยโปรแกรม ImageJ (ImageJ 1.54p)

2.6 คำนวณทางสถิติ

การทดลองทั้งหมดได้ดำเนินการทำซ้ำ 3 ครั้ง (n=3) เพื่อให้มั่นใจในความน่าเชื่อถือของข้อมูล การวิเคราะห์ทางสถิติดำเนินการโดยใช้ one-way analysis of variance (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS version 16.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดสอบ การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟแสดงค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± SD) และการสร้างแผนภูมิแท่งดำเนินการด้วยโปรแกรม GraphPad Prism version 10.0 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA)



รูปที่ 5 กราฟแสดงผลของ CBD ร่วมกับ Terpene 2 ชนิดต่ออัตราการรอดชีวิตของเซลล์จากการตายที่ถูกเหนี่ยวนำโดย Aβ₁₋₄₂ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ และเซลล์ควบคุม Aβ : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้แสดงสถานะของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดจาก Aβ₁₋₄₂, Aβ/CBD+Pi+Li : เซลล์ที่เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ แล้วจึงได้รับ CBD, α-pinene และ Linalool, Aβ/CBD+Pi+Ca : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ แล้วจึงได้รับ CBD, α-pinene และ β-caryophyllene, Aβ/CBD+Li+Ca : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ แล้วจึงได้รับ CBD, Linalool และ β-caryophyllene, Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)



รูปที่ 6 กราฟแสดงผลของ CBD ร่วมกับ Terpene 3 ชนิดต่อการรักษาเซลล์จากการตายที่ถูกเหนี่ยวนำโดย Aβ₁₋₄₂ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย Aβ₁₋₄₂ และเซลล์ควบคุม Aβ : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้แสดงสถานะของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดจาก Aβ₁₋₄₂, Aβ/CBD+Li+Pi+Ca : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้แสดงสถานะของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดจาก Amyloid-β แล้วจึงได้รับ CBD, Linalool, α-pinene และ β-caryophyllene, Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)

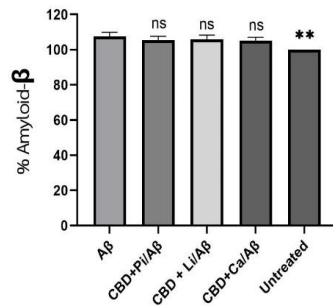
3. ผลลัพธ์

3.1 ผลของสารสกัดผสมระหว่าง CBD และ terpene ชนิดต่าง ๆ ต่อการป้องกันเซลล์จากการตายที่เหนี่ยวนำด้วยโปรตีน Aβ₁₋₄₂

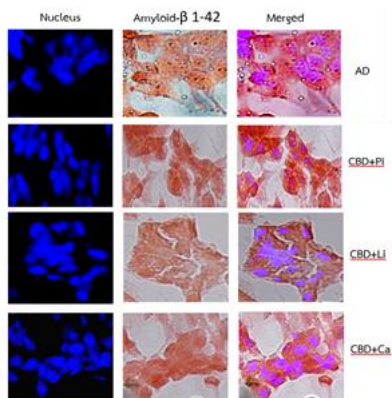
ในการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีน CBD, β-caryophyllene, α-pinene และ Linalool จะถูกทดสอบความเป็นพิษ (Cytotoxicity) ของสารสกัดต่อเซลล์ SH-SY5Y โดยในแต่ละสารสกัดจะทำการทดสอบที่ความเข้มข้น 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 μM และใช้เวลาในการทดสอบ 0, 3, 12, 24 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่า CBD ที่ความเข้มข้น 150 μM, α-Pinene ที่ความเข้มข้น 150 μM, Linalool ที่ความเข้มข้น 150 μM และ β-Caryophyllene ที่ความเข้มข้น 100 μM ในการทดสอบที่ 24 ชั่วโมง ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการรอดชีวิตของเซลล์ SH-SY5Y อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$ จึงเลือกความเข้มข้นและระยะเวลาดังกล่าวเพื่อทำการศึกษาคืบต่อไป

ในการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 1 ชนิดต่อการป้องกันเซลล์ก่อนถูกเหนี่ยวนำให้เกิดสถานะอัลไซเมอร์จากโปรตีน Aβ₁₋₄₂ จากผลการทดสอบในภาพที่ 1 พบว่าการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีนทั้งสามชนิด เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ไม่แตกต่างจากเซลล์กลุ่มอัลไซเมอร์ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยการใช้ CBD ร่วมกับ α-pinene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 68% การใช้ CBD ร่วมกับ Linalool เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 69% และการใช้ CBD ร่วมกับ β-caryophyllene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 60% ดังนั้นในการทดสอบนี้ การใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีนทั้งสามชนิดไม่แสดงความสามารถในการป้องกันเซลล์ หรือปกป้องเซลล์จากสถานะของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดการสะสมของ Aβ₁₋₄₂ ตามมาได้

ในการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 2 ชนิดต่อการป้องกันเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดยโปรตีน Aβ₁₋₄₂ ในภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าในทุกการทดสอบพบว่าเซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ต่ำกว่าเซลล์ในกลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายโดยโปรตีน Aβ₁₋₄₂ เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.01$ โดยการใช้ CBD ร่วมกับ α-pinene และ Linalool เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 13% การใช้ CBD ร่วมกับ α-pinene และ β-caryophyllene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 3% การใช้ CBD ร่วมกับ Linalool และ β-caryophyllene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 2% ดังนั้นจากการทดสอบการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 2 ชนิดในทุกการทดสอบไม่สามารถช่วยใน



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลของ CBD ร่วมกับ Terpene 1 ชนิดต่อปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นของการป้องกันเซลล์จากการตายที่ถูกเหนี่ยวนำโดย $A\beta_{1-42}$ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ และเซลล์ควบคุม $A\beta$: เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, CBD+Pi/ $A\beta$: เซลล์ที่ได้รับ CBD และ α -pinene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, CBD+Li/ $A\beta$: เซลล์ที่ได้รับ CBD และ Linalool แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, CBD+Ca/ $A\beta$: เซลล์ที่ได้รับ CBD และ β -caryophyllene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)



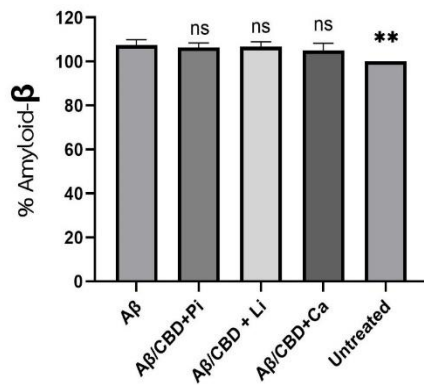
รูปที่ 8 ลักษณะของเซลล์และปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นเมื่อทดสอบสารสกัด 2 ชนิดต่อปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นของการป้องกันเซลล์จากการตายที่ถูกเหนี่ยวนำโดย $A\beta_{1-42}$ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ และเซลล์ควบคุม $A\beta_{1-42}$ $A\beta$: เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, CBD+Pi/ $A\beta$: เซลล์ที่ได้รับ CBD และ α -pinene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, CBD+Li/ $A\beta$: เซลล์ที่ได้รับ CBD และ Linalool แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, CBD+Ca/ $A\beta$: เซลล์ที่ได้รับ CBD และ β -caryophyllene แล้วจึงถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$, Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)

การป้องกันเซลล์ได้ อีกทั้งยังเพิ่มความเข้มข้นของเซลล์อีกด้วย

ในการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 3 ชนิดต่อการป้องกันเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายจากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ดังแสดงในภาพที่ 3 ไม่พบการเสริมฤทธิ์ของ CBD, Linalool, α -pinene และ β -caryophyllene ในการปกป้องเซลล์ทั้งยังพบว่าเซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 2% ต่ำกว่ากลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย $A\beta_{1-42}$ เพียงอย่างเดียว (65%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$ ซึ่งแสดงความเป็นพิษของสารสกัดต่อเซลล์มากขึ้น โดยเมื่อใช้สารสกัดร่วมกันทั้งสี่ชนิดส่งผลให้เซลล์มีอัตราการตายมากที่สุด สอดคล้องกับการทดลองของ Rasic และคณะ (2024) ที่พบอัตราการรอดชีวิตของเซลล์เมื่อใช้สาร CBD ร่วมกับ citrinin ในเซลล์ SH-SY5Y แต่ไม่พบลักษณะการรอดชีวิตที่ลดลงในเซลล์ HepG2 และ HEK293 แสดงให้เห็นลักษณะการแสดงออกของสาร CBD ที่แตกต่างในเซลล์ต่างชนิดกัน

3.2 ผลของสารสกัดผสมระหว่าง CBD และ terpene ชนิดต่าง ๆ ต่อการรักษาเซลล์หลังการเหนี่ยวนำด้วยโปรตีน $A\beta_{1-42}$

ในการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 1 ชนิดต่อการรักษาเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายจากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ จากผลการทดสอบในภาพที่ 4 เมื่อทดสอบการเสริมฤทธิ์ของ CBD กับ α -pinene และ CBD กับ Linalool พบว่าเซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่มากกว่าในกลุ่มเซลล์ควบคุมที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายจากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสารเสริมฤทธิ์ระหว่าง CBD กับ β -Caryophyllene พบว่าเซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ไม่แตกต่างกับเซลล์ที่ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p > 0.05$ โดยการใช้ CBD ร่วมกับ α -pinene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 81% การใช้ CBD ร่วมกับ Linalool เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 85% และ การใช้ CBD ร่วมกับ β -caryophyllene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 71% จึงแสดงให้เห็นผลของ CBD ร่วมกับ α -pinene และ CBD ร่วมกับ Linalool มีความสามารถในการลดอัตราการตายของเซลล์จากโปรตีนที่ทำให้เกิดอัลไซเมอร์หลังจากโปรตีนดังกล่าวเกิดการสะสมภายในเซลล์ได้ในขณะที่ผลของ CBD ร่วมกับ β -Caryophyllene ไม่แสดงผลการลดอัตราการตายของเซลล์ที่ถูกทำให้เกิดสภาวะอัลไซเมอร์จากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Laws และ Smid (2024) ที่แสดงผลของ β -Caryophyllene ต่อเซลล์ PC12 ซึ่งมักถูกใช้เป็นแบบจำลอง



รูปที่ 9 กราฟแสดงผลของ สารสกัด 2 ชนิดต่อปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นของการรักษาเซลล์จากการตายที่ถูกเหนี่ยวนำโดย $A\beta_{1-42}$ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ และเซลล์ควบคุม $A\beta$: เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้แสดงสถานะของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดจาก $A\beta_{1-42}$, $A\beta$ /CBD+Pi : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ แล้วจึงได้รับ CBD และ α -pinene, $A\beta_{1-42}$ /CBD+Li : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ แล้วจึงได้รับ CBD และ Linalool, $A\beta$ /CBD+Ca : เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ แล้วจึงได้รับ CBD และ β -caryophyllene, Untreated : เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns : ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, * : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, ** : แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)

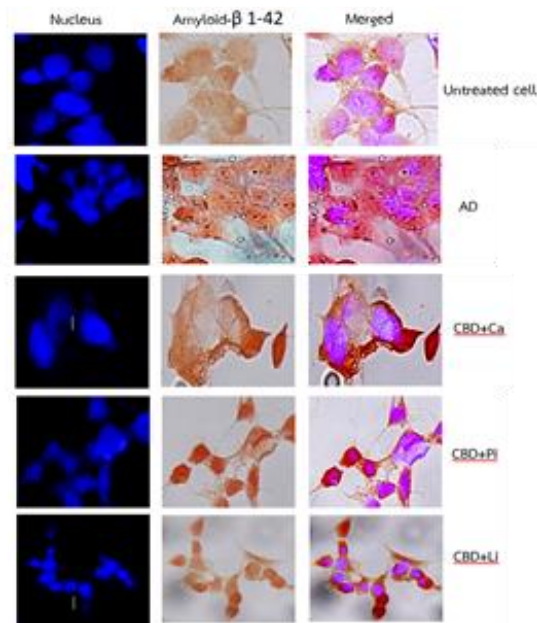
ในการศึกษาระบบประสาท โดยมีอัตราการรอดชีวิตของเซลล์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเทอร์พีนชนิดอื่นๆ

ในการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 2 ชนิดต่อการรักษาเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายจากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งทดสอบผลของ CBD, α -pinene และ Linalool ผลของ CBD, α -pinene และ β -caryophyllene และผลของ CBD, Linalool และ β -caryophyllene ร่วมกัน พบว่าเซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ต่ำกว่าเซลล์ในกลุ่มเซลล์ควบคุมที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายจากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ และ $p \leq 0.01$ ตามลำดับ โดยการใช้ CBD ร่วมกับ α -pinene และ Linalool เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 49% การใช้ CBD ร่วมกับ α -pinene และ β -caryophyllene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 26% การใช้ CBD ร่วมกับ Linalool และ β -caryophyllene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 13% ดังนั้นจากผลการทดสอบการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 2 ชนิด ไม่มีการทดสอบใดที่ช่วยในการปกป้องหรือรักษาเซลล์ในสภาวะหลังจากเกิดการกระตุ้นการตายของเซลล์จากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ อีกทั้งเซลล์ยังมีอัตราการตายเพิ่มขึ้นด้วย

ในการทดสอบผลของ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 3 ชนิด ต่อการรักษาเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายจากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่า สารผสมระหว่าง CBD, Linalool, α -pinene และ β -caryophyllene แสดงอัตราการรอดชีวิตที่ต่ำกว่าเซลล์ในกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$ ในการปกป้องเซลล์ ทั้งยังพบว่าเซลล์มีอัตราการรอดชีวิตเพียง 2-3% ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย $A\beta_{1-42}$ เพียงอย่างเดียว (65%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.01$ โดยการใช้ CBD ร่วมกับ α -pinene, Linalool และ β -caryophyllene เซลล์มีอัตราการรอดชีวิตที่ 1% แสดงให้เห็นได้ว่าการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 3 ชนิดไม่สามารถช่วยในการปกป้องหรือรักษาเซลล์ในสภาวะหลังจากเกิดการกระตุ้นการตายของเซลล์จากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ซึ่งอาจเกิดจากความเป็นพิษของความเข้มข้นของสารสำคัญที่มากเกินไป อาจส่งผลกระตุ้นการตายของเซลล์ให้สูงขึ้น

3.3 ผลการวัดปริมาณโปรตีน A β ทั้งหมดต่อการเสริมฤทธิ์หรือต้านฤทธิ์ของสารสกัดจากกัญชาต่อการป้องกันเซลล์จากการตายโดยโปรตีน $A\beta_{1-42}$

จากผลการลดอัตราการตายของเซลล์หลังจากเกิดการสะสมและกระตุ้นการตายของเซลล์จากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ดังแสดงในการทดลองที่ 3.2 เซลล์ SH-SH5Y ถูกนำมาทำการทดสอบต่อเพื่อหาระดับของปริมาณโปรตีน $A\beta$ ทั้งหมดที่สะสมอยู่บริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 พบว่าปริมาณโปรตีนที่พบไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$ เมื่อเทียบกับกลุ่มเซลล์ควบคุมที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายจากโปรตีน $A\beta_{1-42}$ เพียงอย่างเดียว โดยการใช้ CBD ร่วมกับ α -pinene พบปริมาณโปรตีนสะสมที่ 104% การใช้ CBD ร่วมกับ Linalool พบปริมาณโปรตีนสะสมที่ 105%และ การใช้ CBD ร่วมกับ β -caryophyllene พบปริมาณโปรตีนสะสมที่ 104% แสดงให้เห็นได้ว่าการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีน 1 ชนิดไม่สามารถช่วยลดอัตราการรวมตัวของโปรตีน $A\beta$ ทั้งหมดที่เยื่อหุ้มเซลล์ได้ทันที สอดคล้องกับการทดลองของ Sabogal-Guáqueta et al. (2016) ที่ทำการทดสอบการให้อาหารที่ผสม linalool ในหนูที่ถูกดัดแปลงพันธุกรรมให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ ซึ่งสามารถช่วยลดปริมาณของ $A\beta$ ภายนอกเซลล์และลดพฤติกรรมที่แสดงอาการของโรคได้ อย่างไรก็ตาม การทดลองดังกล่าวเป็นการทดสอบโดยการให้อาหารผสมเทอร์พีนในปริมาณ



รูปที่ 10 ลักษณะของเซลล์และปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นเมื่อทดสอบสารสกัด 2 ชนิดต่อปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้นของการป้องกันเซลล์จากการตายที่ถูกเหนี่ยวนำโดย $A\beta_{1-42}$ เปรียบเทียบกับเซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ และเซลล์ควบคุม $A\beta$: เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้แสดงสถานะของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดจาก $A\beta_{1-42}$, $A\beta$ /CBD+Pi: เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ แล้วจึงได้รับ CBD และ α -pinene, $A\beta$ /CBD+Li: เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ แล้วจึงได้รับ CBD และ Linalool, $A\beta$ /CBD+Ca: เซลล์ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายของเซลล์โดย $A\beta_{1-42}$ แล้วจึงได้รับ CBD และ β -caryophyllene, Untreated: เซลล์ที่อยู่ในสภาวะปกติ (ns: ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$, *: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$, **: แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.01$)

25 mg/kg เป็นระยะเวลาสามเดือน ซึ่งอาจแสดงได้ว่าการใช้เทอร์พีนในการลดระดับ $A\beta$ ที่สะสมอยู่ภายนอกเซลล์อาจต้องใช้เวลายาวนานกว่าในการทดลองนี้

3.4 ผลการวัดปริมาณโปรตีน $A\beta$ ทั้งหมดต่อการรักษาเซลล์หลังเกิดการสะสมของโปรตีน $A\beta_{1-42}$

ปริมาณโปรตีน $A\beta$ ทั้งหมดที่สะสมภายนอกเซลล์ที่ทดสอบกับสาร CBD ร่วมกับเทอร์พีน 1 ชนิด ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 9 และ 10 ในทุกการทดลองพบว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติของการสะสมของโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์เปรียบเทียบกับกลุ่มเซลล์ควบคุมที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการตายโดย $A\beta_{1-42}$ ($p > 0.05$) โดยการใช้ CBD ร่วมกับ α -pinene พบปริมาณโปรตีนสะสมที่ 105% การใช้ CBD ร่วมกับ Linalool พบปริมาณโปรตีนสะสมที่ 106% และการใช้ CBD ร่วมกับ β -caryophyllene พบปริมาณโปรตีนสะสมที่ 104% แสดงให้เห็นว่าการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีน ไม่สามารถช่วยลดการรวมตัวของโปรตีน $A\beta$

ทั้งหมดที่เยื่อหุ้มเซลล์ได้ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง สอดคล้องกับการทดลองที่ 3.3 โดยอาจต้องใช้ระยะเวลาทดสอบกับสารกลุ่มเทอร์พีนนานขึ้นจึงจะสามารถแสดงการลดอัตราการสะสมของโปรตีน $A\beta$ ได้ ซึ่งควรทำการทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่แสดงสภาวะการลดลงดังกล่าวเพิ่มเติมในอนาคต

4. การอภิปราย

โรคอัลไซเมอร์เป็นภาวะสมองเสื่อมที่มีพยาธิกำเนิดหลายประการ โดยการสะสมของโปรตีน amyloid- β ($A\beta_{1-42}$) ถือเป็นหนึ่งในกลไกพยาธิวิทยาหลักของโรค ภาวะการอักเสบของระบบประสาท (neuroinflammation) ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีส่วนก่อให้เกิดการเสื่อมของเซลล์ประสาทในโรคอัลไซเมอร์ การศึกษานี้จึงได้ดำเนินการทดสอบสารสกัดจากัญชาสองกลุ่มคือ CBD และเทอร์พีน เพื่อประเมินศักยภาพในการป้องกันและบรรเทาการตายของเซลล์ประสาทชนิด SH-SY5Y จากผลการศึกษาพบว่า การใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีนในลักษณะการป้องกัน ไม่สามารถยับยั้งการตายของเซลล์ SH-SY5Y ที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ได้ ผลการทดลองนี้แตกต่างจากการศึกษาของ Chen และคณะ (2023) ที่ระบุว่า CBD มีฤทธิ์ในการป้องกันและลดอัตราการตายของเซลล์ อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวกำหนดสภาวะการทดลองที่ต่างออกไปโดยใช้ความเข้มข้นของ CBD ที่ต่ำกว่า คือ 5 μ M และใช้ระยะเวลาในการทดสอบที่สั้นกว่าที่ 12 ชั่วโมง ดังนั้นความแตกต่างของความเข้มข้นและระยะเวลานี้ อาจเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการปกป้องเซลล์เมื่อใช้สารสกัดจากัญชา ในเชิงการป้องกันการตายของเซลล์ในสภาวะที่จะทำให้เกิดโรคอัลไซเมอร์ ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อระบุความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งก่อนจะนำสารสำคัญจากัญชาไปประยุกต์ใช้ในเชิงการป้องกันโรคอัลไซเมอร์

ในทางตรงกันข้าม ในการทดสอบการใช้สารสำคัญจากัญชาในการรักษาหรือฟื้นฟูเซลล์หลังจากการกระตุ้นการตายโดยโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ในการศึกษาพบว่า การใช้ CBD ร่วมกับ α -pinene และ CBD ร่วมกับ linalool สามารถลดอัตราการตายของเซลล์หลังจากเกิดการกระตุ้นการตายโดยโปรตีน $A\beta_{1-42}$ ได้ สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ (Harvy et al. (2012); Janefjord et al. (2014); Kang et al.

(2021); Santos et al. (2024)) ที่แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากกัญชามีศักยภาพในการลดการตายของเซลล์และเสริมการฟื้นฟูสภาพของเซลล์ประสาทหลังได้รับความเสียหายจาก $A\beta_{1-42}$ ในการทดลองของ Zhang et al. (2022) พบว่าที่ความเข้มข้นของ CBD ที่ 100 μM จะส่งผลต่อโปรตีน Amyloid ลดค่าอนุโมลลิสและบรรเทาการลุกลามของโรคอัลไซเมอร์ที่เกิดจาก Amyloid เช่นเดียวกับการศึกษาของ Esposito et al. (2011) ที่รายงานว่า CBD สามารถลดการอักเสบของระบบประสาทที่เกิดจาก $A\beta_{1-42}$ และเสริมการสร้างเซลล์ประสาทใหม่ผ่านการกระตุ้นตัวรับ PPAR γ ใน astrocytes ได้ นอกจากนี้ในการทดลองของ Laws & Smid (2024) ยังพบว่า α - และ β -pinene สามารถลดอัตราการตายของเซลล์ PC12 ที่ถูกเหนี่ยวนำด้วย $A\beta_{1-42}$ และพบว่า α -pinene ยังช่วยลดการรวมตัวของ $A\beta$ ได้อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ เมื่อทดสอบการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีนมากกว่า 1 ชนิด กลับไม่พบการกระตุ้นการฟื้นฟูหรือการลดลงของปริมาณโปรตีน $A\beta$ ที่เยื่อหุ้มเซลล์ อีกทั้งการเพิ่มชนิดของสารสกัดยังส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีนหลายชนิดอาจเกิดลักษณะการต้านฤทธิ์ระหว่าง CBD และสารในกลุ่มเทอร์พีน โดยอาจเกิดจากสัดส่วนหรือความเข้มข้นของสารที่ไม่เหมาะสม โดยสารอาจเข้าไปแย่งชิงตำแหน่งบนตัวรับหรือขัดขวางกลไกการส่งสัญญาณภายในเซลล์ของสารอีกชนิดหนึ่ง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการปกป้องเซลล์ลดลง ดังนั้นการศึกษาถึงชนิดของสารที่สามารถเสริมฤทธิ์และกระตุ้นการฟื้นฟูสภาพของเซลล์รวมถึงกลไกที่ตอบสนองต่อสารกลุ่มนั้นจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จำเป็นจะต้องมีการทดสอบก่อนนำสารสกัดจากกัญชาไปใช้ในเชิงการรักษาฟื้นฟูเซลล์ประสาทหลังได้รับความเสียหายจาก $A\beta_{1-42}$

ในการศึกษาผลของสารสกัดจากกัญชาต่อปริมาณ $A\beta_{1-42}$ จากการทดลองของ Janefjord และคณะ (2014) พบว่า CBD มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสามารถลดผลกระทบจาก $A\beta_{1-42}$ ในเซลล์ SH-SY5Y แต่ไม่ได้ส่งผลในการลดการรวมตัวของโปรตีน $A\beta$ สอดคล้องกับผลการศึกษาในที่พบว่า แม้การใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีนจะช่วยลดอัตราการตายของเซลล์แต่ไม่สามารถช่วยลดปริมาณโปรตีน $A\beta_{1-42}$ หรือลดการรวมตัวของโปรตีนดังกล่าวที่เยื่อหุ้มเซลล์ได้ ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของสารสกัดจากกัญชาต่อปริมาณของ $A\beta_{1-42}$ และขบวนการการฟื้นฟูสภาพของเซลล์

ประสาทหลังได้รับความเสียหายจึงอาจเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะทำให้สามารถเข้าใจถึงการใช้สารสกัดจากกัญชาได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมต่อการรักษาเซลล์เมื่อเกิดสภาวะอัลไซเมอร์ ดังนั้นการศึกษาการใช้ CBD ร่วมกับเทอร์พีนชนิดต่างๆในช่วงระยะเวลาก่อนและหลังการกระตุ้นการตายของเซลล์ด้วยโปรตีน $A\beta_{1-42}$ อาจชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้และข้อจำกัดของการใช้กัญชาต่อการป้องกันและรักษาโรคอัลไซเมอร์ ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมและทำความเข้าใจกลไกการออกฤทธิ์ร่วมกันในระดับโมเลกุลก่อนที่จะนำสารสกัดจากกัญชาไปใช้เพื่อป้องกันหรือรักษาอาการเสื่อมของเซลล์ประสาทที่เกี่ยวข้องกับโรคอัลไซเมอร์ในอนาคต

5. บทสรุป

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าในการใช้สารสกัดจากกัญชาคือ CBD ร่วมกับสารกลุ่มเทอร์พีนเพื่อป้องกันและฟื้นฟูเซลล์ SH-SY5Y จากการตายโดยโปรตีน $A\beta_{1-42}$ แสดงผลที่แตกต่างกัน การใช้ CBD ร่วมกับ α -Pinene และ CBD ร่วมกับ Linalool ไม่สามารถช่วยในการป้องกันเซลล์จากการตายโดยการสะสมของ $A\beta_{1-42}$ ได้ แต่การใช้สารกลุ่มดังกล่าวสามารถช่วยในการลดอัตราการตายของเซลล์หลังเกิดการเพิ่มปริมาณขึ้นของโปรตีน $A\beta_{1-42}$ แตกต่างจากการใช้ CBD ร่วมกับ β -Caryophyllene ซึ่งไม่พบความสามารถในการป้องกันและรักษาเซลล์จากการตายโดยโปรตีน $A\beta_{1-42}$ นอกจากนี้เมื่อเพิ่มจำนวนของสารสกัดที่ใช้ร่วมกันกลับส่งผลให้เกิดความเป็นพิษต่อเซลล์มากขึ้นด้วย จากการทดลองแสดงให้เห็นข้อจำกัดของการใช้สารสกัดจากกัญชาร่วมกันและความจำเป็นที่จะต้องศึกษาชนิด ปริมาณ ระยะเวลา รวมถึงคุณสมบัติอื่นของสารสกัดให้เหมาะสม ก่อนนำสารสกัดจากกัญชาไปใช้ในทางการแพทย์ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้การสนับสนุนชนิดเซลล์ที่ใช้ในการทดลอง ขอขอบพระคุณศูนย์ปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ และเคมีชีวภาพ อุทยานเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้อุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลอง และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ภก.นันทชัย หาญประมุขกุล

วิทยาลัยเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้ความ อนุเคราะห์ในการสกัด CBD จากกัญชาที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Ali, M., Timsina, J., Western, D., Liu, M., Beric, A., Budde, J., et al. (2025). Multi-cohort cerebrospinal fluid proteomics identifies robust molecular signatures across the Alzheimer disease continuum. *Neuron*, 113(9), 1363-1379.e1369. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2025.02.014>
- Beltrami, S., Rizzo, S., Schiuma, G., Cianci, G., Narducci, M., Baroni, M., et al. (2025). West Nile virus non-structural protein 1 promotes amyloid Beta deposition and neurodegeneration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 305, 141032. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141032>
- Chen, L., Sun, Y., Li, J., Liu, S., Ding, H., Wang, G., & Li, X. (2023). Assessing Cannabidiol as a Therapeutic Agent for Preventing and Alleviating Alzheimer's Disease Neurodegeneration. *Cells*, 12(23), 2672. <https://doi.org/10.3390/cells12232672>
- Doering, S., McCullough, A., Gordon, B. A., Chen, C. D., McKay, N., Hobbs, D., et al. (2024). Deconstructing pathological tau by biological process in early stages of Alzheimer disease: a method for quantifying tau spatial spread in neuroimaging. *eBioMedicine*, 103, 105080. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2024.105080>
- El-Hammadi, M. M., Small-Howard, A. L., Fernández-Arévalo, M., Turner, H., & Martin-Banderas, L. (2025). Effects of combined CBGA and cannabis-derived terpene nanoformulations on TRPV1 activation: Implications for enhanced pain management. *International Journal of Pharmaceutics*, 679, 125766. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2025.125766>
- Esposito, G., Scuderi, C., Valenza, M., Togni, G. I., Latina, V., De Filippis, D., Cipriano, M., Carratù, M. R., Iuvone, T., & Steardo, L. (2011). Cannabidiol reduces A β -induced neuroinflammation and promotes hippocampal neurogenesis through PPAR γ involvement. *PLoS one*, 6(12), e28668. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028668>
- Greeley, D., Nash, M., Herskowitz, B., Kim, F., Rock, J., Prins, N., et al. (2025). A phase 2 randomized, placebo-controlled study on the efficacy and safety of AR1001, a phosphodiesterase-5 inhibitor, in patients with mild-to-moderate Alzheimer's disease. *The Journal of Prevention of Alzheimer's Disease*, 100337. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tpad.2025.100337>
- Harvey, B. S., Ohlsson, K. S., Mååg, J. L. V., Musgrave, I. F., & Smid, S. D. (2012). Contrasting protective effects of cannabinoids against oxidative stress and amyloid- β evoked neurotoxicity in vitro. *NeuroToxicology*, 33(1), 138-146. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2011.12.015>
- Janejrd, E., Mååg, J. L., Harvey, B. S., & Smid, S. D. (2014). Cannabinoid effects on β amyloid fibril and aggregate formation, neuronal and microglia-activated neurotoxicity in vitro. *Cellular and molecular neurobiology*, 34(1), 31-42. <https://doi.org/10.1007/s10571-013-9984-x>
- Kang, S., Li, J., Yao, Z., & Liu, J. (2021). Cannabidiol Induces Autophagy to Protects Neural Cells From Mitochondrial Dysfunction by Upregulating SIRT1 to Inhibits NF- κ B and NOTCH Pathways. *Frontiers in cellular neuroscience*, 15, 654340. <https://doi.org/10.3389/fncel.2021.654340>
- Kim, H.-K., Park, S., Kim, S.-W., Jin, Y., Lee, H., Hong, J. Y., et al. (2025). Associations between traumatic brain injury and the prevalence of Alzheimer's disease dementia and behavioral and psychological symptoms of dementia: A retrospective cohort study. *The Journal of Prevention of Alzheimer's Disease*, 100360. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tpad.2025.100360>
- Laws, J. S., & Smid, S. D. (2024). Characterizing cannabis-prevalent terpenes for neuroprotection reveal a role for α and β -pinenes in mitigating amyloid β -evoked neurotoxicity and aggregation in vitro. *NeuroToxicology*, 100, 16-24. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2023.12.004>
- Levy, C. M., Riederer, A. M., Simpson, C. D., Gassett, A. J., Gilbert, A. J., Paulsen, M. H., et al. (2025). Forest terpenes and stress: Examining the associations of filtered vs. non-filtered air in a real-life natural environment. *Environmental Research*, 276, 121482. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121482>
- Li, D., Illynskyy, Y., Ghasemi Gojani, E., Kovalchuk, O., & Kovalchuk, I. (2022). Analysis of anti-cancer and anti-inflammatory properties of 25 high-THC cannabis extracts. *Molecules*, 27(18), 6057. doi:<https://doi.org/10.3390/molecules27186057>
- Sabogal-Guáqueta, A. M., Osorio, E., & Cardona-Gómez, G. P. (2016). Linalool reverses neuropathological and behavioral impairments in old triple transgenic Alzheimer's mice. *Neuropharmacology*, 102, 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.neuropharm.2015.11.002>
- Santos, N. A., Martins, N. M., Sisti, F. M., Fernandes, L. S., Ferreira, R. S., Queiroz, R. H., & Santos, A. C. (2015). The neuroprotection of cannabidiol against MPP⁺-induced toxicity in PC12 cells involves trkA receptors, upregulation of axonal and synaptic proteins, neuriteogenesis, and might be relevant to Parkinson's disease. *Toxicology in vitro: an international journal published in association with BIBRA*, 30(1 Pt B), 231-240. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2015.11.004>
- Tendwa, M. B., Appidi, T., Chitsunge, B., Moreau, M., Okole, B., Kalombo, L., et al. (2025). From farm to bedside: Potential of medical cannabis in global health. *Complementary Therapies in Medicine*, 93, 103205. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ctim.2025.103205>
- Yang, F., Duan, S., Liu, J., An, Z., Liu, W., Wang, X., et al. (2025). Antitumor effects of cannabidiol (CBD) on osteosarcoma by targeting TNF- α /NF- κ B/CCL5 signaling axis. *Phytomedicine*, 145, 157066. doi:<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2025.157066>
- Zhang, Y., Li, H., Jin, S., Lu, Y., Peng, Y., Zhao, L., & Wang, X. (2022). Cannabidiol protects against Alzheimer's disease in C. elegans via ROS scavenging activity of its phenolic hydroxyl groups. *European journal of pharmacology*, 919, 174829. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2022.174829>

การศึกษาความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ ของคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร สิ่งแวดล้อม

จิราวรรณ บวรวงศ์เสถียร^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10800 ประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน อีเมล: jirawan.b@sci.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.006

รับเมื่อ 2 พฤศจิกายน 2568 แก้ไขเมื่อ 26 มีนาคม 2569 ตอรับเมื่อ 17 เมษายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ ของคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย จากคณาจารย์ทั้ง 3 สาขาวิชา ได้แก่ 1) สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร 2) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร และ 3) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม รวมจำนวน 30 ราย นอกจากนี้ยังศึกษาการจัดกลุ่มการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ในรายวิชาทางทฤษฎีและรายวิชาปฏิบัติ การเก็บข้อมูลแบบสอบถามและประเมินผลทางสถิติ ได้แก่ ความถี่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ด้วยโปรแกรม IBM® SPSS® Statistics Version. 28.0.0.0 ผลการวิจัยพบว่าการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ในรายวิชาทฤษฎีและรายวิชาปฏิบัติ ไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอน ซึ่งคณาจารย์ในภาควิชาสามารถใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในระดับใกล้เคียงกัน โดยรวมแล้วความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์อยู่ในระดับพอใจมาก อย่างไรก็ตามเมื่อจำแนกเครื่องมือที่ใช้ในการช่วยสอนออนไลน์ตามผู้ให้บริการ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในระดับศาสตราจารย์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความสะดวกในการให้สนับสนุนบริการของแต่ละผู้ให้บริการที่มหาวิทยาลัยได้จัดเตรียมให้ รวมถึงอาจขึ้นอยู่กับรายวิชาที่สอนที่มีความรวดเร็วของเนื้อหาที่มีความแตกต่างกัน

คำสำคัญ: เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์, การเรียนการสอนออนไลน์, เทคโนโลยีการศึกษา, ระบบบริหารจัดการการเรียนรู้, การเรียนรู้วิถีใหม่

Satisfaction Study Using Online Teaching Aids of Faculty Members in the Department of Agro-industrial, Food and Environment Technology

Jirawan Bowornwongsathien^{1*}

¹Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand

* Corresponding Author, E-mail: jirawan.b@sci.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/JASET.KMUTNB.2026.01.006

Received 2 November 2025; **Revised** 26 March 2026; **Accepted** 17 April 2026

ABSTRACT

This study aimed to collect data regarding online teaching tools and the satisfaction of faculty members from the Department of Agro-Industrial, Food, and Environmental Technology, Faculty of Applied Science, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand. The study encompassed 30 faculty members across three disciplines: 1) Agro-Industrial Technology, 2) Food Science and Technology, and 3) Environmental Science and Technology. Additionally, the study examined the grouping of online teaching tool usage in theoretical and practical courses. Data collection and statistical evaluation included frequency, mean, standard deviation, and one-way ANOVA analysis using IBM® SPSS® Statistics Version 28.0.0.0. The study's key findings revealed that there was no significant difference in satisfaction with online teaching tools between theoretical and practical courses. Faculty members from all three disciplines demonstrated similar levels of efficiency in utilizing these tools. The overall satisfaction with online teaching tools was found to be very high. However, when the tools were categorized by service provider, a statistically significant difference at P-Value < 0.05 level was observed among professors. This difference could be attributed to the varying convenience and compactness of course content provided by each service provider.

KEYWORDS: Online Teaching Tools, Online Teaching and Learning, Educational Technology, Learning Management System (LMS), New Normal Learning

Please cite this article as: J. Bowornwongsathien, "Satisfaction Study Using Online Teaching Aids of Faculty Members in the Department of Agro-industrial, Food and Environment Technology," *Journal of Applied Science and Emerging Technology*, vol 25, no 1, pp. 1-9, ID. 264671, April 2026 (in Thai).

1. บทนำ

ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 ได้เปลี่ยนแปลงวิธีการศึกษาของนักเรียน นักศึกษา และบุคคลทั่วไป ทั่วโลก สถาบันการศึกษาหลายแห่งจึงปรับตัวโดยหันมาใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์ (Online Learning) ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถศึกษาได้จากที่บ้านหรือที่พำนักอย่างสะดวกสบาย การเรียนผ่านเว็บไซต์หรือแพลตฟอร์มออนไลน์อื่น ๆ ช่วยให้ผู้เรียนเข้าถึงเนื้อหาได้ง่าย ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดก็ตาม ความยืดหยุ่นนี้เป็นจุดเด่นสำคัญที่ทำให้การเรียนการสอนออนไลน์ตอบสนองความต้องการของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี (Camarco et al., 2020; Dhawan, 2020; Jena, 2020) อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางและค่าสาธารณูปโภคที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนในสถานศึกษา (Suwastini et al., 2023)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้กระตุ้นให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยีที่ใช้ในการเรียนการสอนออนไลน์ หรือที่เรียกว่า EdTech ซึ่งมีผู้ให้บริการหลายรายในแพลตฟอร์มออนไลน์ต่าง ๆ (Yuhanna et al., 2020) การใช้เทคโนโลยีเหล่านี้ช่วยให้ผู้เรียนสามารถจัดการการเรียนรู้ของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาดแรงงานที่มีความเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา (Barman and Roy, 2023) นอกจากนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับการเรียนการสอนออนไลน์ยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถเลือกใช้แพลตฟอร์มที่ตนเองถนัดและปรับตัวเข้ากับการเรียนในยุคดิจิทัลได้อย่างง่ายอีกด้วย (Yuhanna et al., 2020)

เครื่องมือช่วยสำหรับการเรียนการสอนออนไลน์จึงมีบทบาทสำคัญสำหรับสถานการณ์นี้ เพื่อให้อ่านง่ายให้มีการจัดการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การจัดการเนื้อหา การจัดการทิศทางของการเรียนการสอนและหลักสูตร ด้วยการอาศัยเครื่องมือที่ถูกพัฒนาในช่วงต้น เช่น อีเมลกระดานสนทนา เครือข่ายสังคมสำหรับสนทนา (Chat Social Network) แบบสำรวจ เป็นต้น (Dawley, 2007) ต่อมาได้มีการพัฒนาของเทคโนโลยีในโลกอินเทอร์เน็ตโดยมีการกำเนิดของ วิกีพีเดีย การเขียนบล็อกหรือกระดานสนทนา เทคโนโลยีโลกเสมือน 3 มิติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การเรียนรู้แบบออนไลน์มากขึ้น (Gregory and Bannister-Tyrrell, 2017) จนปัจจุบันมีหลากหลายแพลตฟอร์มที่เน้นถึงการเรียนการสอนออนไลน์โดยเฉพาะ เช่น Google Classroom และ Edmodo เป็นต้น (Vasishta

et al., 2021) ปัจจุบันได้มีส่วนเสริมและเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์เพิ่มเติม ได้แก่ Google Meet, Zoom และ Microsoft Team เพื่อเชื่อมต่อผู้สอนและผู้เรียนเข้าด้วยกัน เป็นเทคโนโลยีในการเรียนการสอนแบบถ่ายทอดสด รวมถึงการจัดเป็นคอร์สเรียนอีกด้วย ซึ่งถือเป็นการเรียน การสอนตามวิถีใหม่ (New Normal) (Prahani & Cheng, 2020)

ถึงแม้การเรียนการสอนออนไลน์มีข้อดีหลายประการ มีหลากหลายแพลตฟอร์มที่ให้อ่านง่ายให้ใช้งาน แต่การเรียนการสอนด้วยวิธีนี้มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในการเรียนการสอน เช่น แรงจูงใจของผู้เรียน ทักษะการสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียน กลยุทธ์ที่ใช้ในการวางแผนการสอน การจัดการเวลา ฯลฯ ล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสำเร็จในการเรียนการสอนออนไลน์เป็นอย่างมาก (Hongsuchon et al., 2022) ดังนั้น ผู้สอนจำเป็นต้องปรับกลยุทธ์การสอนให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนออนไลน์ การประเมินความพึงพอใจของผู้สอนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาแนวทางการสอนที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้นำเสนอความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ ที่แตกต่างกันของคณาจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม ในรายวิชาที่แตกต่างกัน ซึ่งในภาควิชานี้มีจำนวนอาจารย์ทั้งสิ้น 30 ราย แบ่งเป็น 3 สาขาวิชาได้แก่ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร และสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มีจำนวนรายวิชาที่เปิดสอนในแต่ละภาคการศึกษาประมาณ 3 วิชาต่อผู้สอน 1 คนทั้งนี้งานวิจัยนี้จะได้ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาการศึกษาในสถานการณ์การเรียนการสอนในภายภาคหน้าต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ประชากร

ประชากรที่ใช้ในครั้งนี้ได้แก่ คณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทยจำนวน 30 คน

2.2 แบบสอบถาม

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วยแบบสอบถามการประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือ

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปจากการตอบแบบสอบถาม

ข้อมูล	จำนวน (คน)
เพศ	
ชาย	12
หญิง	18
ระดับการศึกษาสูงสุด	
ปริญญาตรี	-
ปริญญาโท	1
ปริญญาเอก	29
อื่น ๆ	-
สถานภาพ	
ข้าราชการ	16
พนักงานมหาวิทยาลัย	14
ลูกจ้างประจำ	-
อื่น ๆ	-
ตำแหน่งทางวิชาการ	
อาจารย์	5
ผู้ช่วยศาสตราจารย์	16
รองศาสตราจารย์	5
ศาสตราจารย์	4
ฝ่ายสนับสนุนวิชาการ	-

ตารางที่ 2 ความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

หมวดหมู่	Cronbach's Alpha	N
ด้านรายวิชาในหลักสูตร	0.891	5
ด้านผู้สอน	0.931	5
ด้านการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน	0.844	10
ด้านการวัดและประเมินผลการเรียนการสอน	0.840	6
ด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนการสอน	0.804	4

ช่วยสอนออนไลน์ ซึ่งแบบสอบถามถูกพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง และผ่านการตรวจสอบความเหมาะสมของเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิในช่วงการส่งพิจารณาทุนวิจัยก่อนนำไปใช้ แบ่งเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษาสูงสุด สถานภาพ ตำแหน่งทางวิชาการ และอายุการทำงาน

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ที่แตกต่างกันของคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ทั้ง 3 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร และสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วยปัจจัย 5 ด้านคือ ด้านรายวิชาในหลักสูตร ด้านผู้สอน ด้านวิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน ด้าน

การวัดและประเมินผลการเรียนการสอน และด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนการสอน โดยลักษณะของคำถามประกอบด้วยข้อความคำถามที่มีคำตอบให้เลือก 5 ระดับ (Rating Scale) คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด ทั้งนี้แต่ละคำถามที่นำมาใช้ในแบบสอบถาม เป็นคำถามในช่วงเกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน อันนำมาซึ่งการใช้สื่อออนไลน์ในการ Work From Home

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะอื่น ๆ

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์และสรุปข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามในตอนต้นที่ 1 รวมถึงการวิเคราะห์ความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ที่แตกต่างกัน ของคณาจารย์ภาควิชา โดยใช้ความถี่ (F) ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ได้มีการตรวจสอบสมมติฐานของการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลด้วยการทดสอบ Shapiro-Wilk และตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบ Levene's test ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 28 โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวด้วยวิธี ด้วยโปรแกรม SPSS Version 28.0.0.0

3. ผลลัพธ์

3.1 ตอนที่ 1

จากการเก็บข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามพบว่า คณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม จำนวนทั้งสิ้น 30 รายตอบแบบสอบถามครบถ้วน โดยแบ่งข้อมูลจากการสำรวจคำถามทั่วไปได้เป็นตารางที่ 1

3.2 ตอนที่ 2

ระดับความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ที่แตกต่างกัน ของคณาจารย์ในภาควิชาจำนวนทั้งสิ้น 30 ราย ในส่วนนี้มีการวิเคราะห์ความถี่ (F) ของระดับความพึงพอใจที่ถูกเลือกสูงที่สุดในแต่ละคำถาม และประเมินผลค่าทางสถิติโดยใช้เกณฑ์ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ย (Mean) ตามความพึงพอใจไว้ได้แก่

ตารางที่ 3 รายวิชาในหลักสูตร

ด้านรายวิชาในหลักสูตร	F	$\bar{X}$	S.D.
1. เนื้อหาในรายวิชาเหมาะสมกับจำนวนหน่วยกิต	4 (50.0%)	4.37	0.615
2. เนื้อหาในรายวิชามีความทันสมัย ทันต่อการเปลี่ยนแปลง	4 (56.7%)	4.23	0.626
3. รายวิชาเหมาะสม และสอดคล้องกับความต้องการเรียน	4 (70.0%)	4.10	0.548
4. รายวิชาเหมาะสมกับพื้นฐานความรู้ของผู้เรียน	4 (73.3%)	4.13	0.507
5. รายวิชามีประโยชน์ต่อการนำไปประกอบอาชีพ	4 (60.0%)	4.33	0.547

ตารางที่ 4 ด้านผู้สอน

ด้านผู้สอน	F	$\bar{X}$	S.D.
6. ผู้สอนมีการเตรียมการสอนล่วงหน้า	4 (53.3%)	4.13	0.681
7. ผู้สอนมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ช่วยให้เกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาวิชา	4 (73.3%)	4.20	0.484
8. ผู้สอนมีความรู้ในเนื้อหาวิชาที่สอนเป็นอย่างดี	4 (53.3%)	4.33	0.606
9. ผู้สอนมีความรอบรู้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงทางวิทยาการ	4 (66.7%)	4.13	0.571
10. ผู้สอนมีความเป็นกันเอง ให้อำนาจและรับฟังความคิดเห็น	4 (70.0%)	4.23	0.504

ตาราง 5 ด้านการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

ด้านวิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน	F	$\bar{X}$	S.D.
11. มีการสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการจัดการศึกษา	4 (83.3%)	4.17	0.379
12. มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักศึกษามีส่วนรวมในกิจกรรม ได้คิดวิเคราะห์ปฏิบัติกิจกรรม	4 (83.3%)	4.10	0.403
13. มีการใช้สื่อและเทคโนโลยี หรือนวัตกรรมในการสอนเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ให้นักศึกษาอย่างเหมาะสม	4 (76.7%)	4.17	0.461
14. มีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยเชิญผู้ทรงคุณวุฒิหรือผู้รู้ในชุมชนเข้าร่วม เพื่อส่งเสริมให้นักศึกษามีความรู้และทักษะในการนำไปปฏิบัติได้จริง	4 (76.7%)	3.83	0.699
15. ใช้วิธีการสอนหลากหลายเหมาะสมกับเนื้อหาวิชาที่เรียน	4 (83.3%)	4.00	0.525
15.1 Zoom	5 (40.0%)	4.17	0.791
15.2 Google Meet	4 (73.3%)	4.00	0.525
15.3 Microsoft Team	5 (53.3%)	4.37	0.809
16. มีกิจกรรมการเรียนการสอนส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาการคิด ได้อภิปราย ชักถาม และแสดงความคิดเห็น	4 (90.0%)	4.03	0.320
17. มีกิจกรรมการเรียนการสอนที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4 (76.7%)	4.10	0.481
18. มีกิจกรรมการเรียนการสอนส่งเสริมการค้นคว้าและแสวงหาความรู้อย่างต่อเนื่อง	4 (83.3%)	3.97	0.414
19. มีกิจกรรมการเรียนการสอนส่งเสริมการค้นคว้าให้มีการใช้ภาษาอังกฤษและการสืบค้นข้อมูลความรู้ต่าง ๆ	4 (76.7%)	4.03	0.490
20. มีกิจกรรมการเรียนการสอนที่เชื่อมโยงและบูรณาการกับการบริหารทางวิชาการแก่สังคม หรือการวิจัย หรือการทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม	4 (90.0%)	3.83	0.531

ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.00-1.80 หมายถึง ไม่พึงพอใจที่สุด
 ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1.81-2.60 หมายถึง ไม่พึงพอใจ
 ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 2.61-3.40 หมายถึง ปานกลาง
 ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.41-4.20 หมายถึง พอใจ
 ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 4.21-5.00 หมายถึง พอใจมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางต่าง ๆ ซึ่งแบ่งออกตามหมวดหมู่ 5 หมวดหมู่ที่แบ่งในแบบสอบถามได้แก่ 1) ด้านรายวิชาในหลักสูตร 2) ด้านผู้สอน 3) ด้านวิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน 4) ด้านการวัดและประเมินผล การเรียนการสอน และ 5) ด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนการสอน ความเที่ยงตรงและความเชื่อมั่นของแบบสอบถามแต่

ละตอนแสดงในตารางที่ 2 และแต่ละผลการวิเคราะห์จะกล่าวต่อไปดังตารางที่ 3 ถึงตารางที่ 7

ผลการทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha)

แบบสอบถามมีความสอดคล้องภายในและสามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างเหมาะสมในการวิจัยครั้งนี้ ก่อนทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ได้มีการตรวจสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของข้อมูลด้วย

ตารางที่ 6 ด้านการวัดและประเมินผลการเรียนการสอน

ด้านการวัดและประเมินผลการเรียนการสอน	F	$\bar{X}$	S.D.
21. ใช้เทคนิคหรือวิธีการวัดและประเมินผลอย่างหลากหลาย	4 (73.3%)	4.13	0.507
22. มีการประเมินผลการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้ที่จัดให้ผู้เรียนและอิงพัฒนาการของผู้เรียน	4 (60.0%)	3.73	0.583
23. มีการเฉลยหรือแนะนำแนวทางของคำตอบเพื่อให้ทราบผลการเรียนรู้	4 (50.0%)	3.83	0.874
24. เปิดเผยคะแนนที่ได้จากการวัดผล	4 (53.3%)	3.80	0.664
25. ให้ข้อมูลย้อนกลับเพื่อนำไปสู่การพัฒนาตนเอง	4 (73.3%)	3.80	0.484
26. การวัดและประเมินผลการเรียนมีความชัดเจนและยุติธรรม	4 (63.3%)	3.83	0.592

ตารางที่ 7 ด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนการสอน

ด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนการสอน	F	$\bar{X}$	S.D.
27. ในภาควิชามีห้องเรียน สื่อ และสิ่งอำนวยความสะดวกในห้องเรียนอย่างเหมาะสมและเพียงพอ	4 (83.3%)	4.07	0.521
28. ในภาควิชามีหนังสือ ตำรา สำหรับค้นคว้าอย่างเหมาะสมและเพียงพอ	4 (86.7%)	3.93	0.640
29. ในภาควิชามีงานวิจัย วิทยานิพนธ์ ในการศึกษาค้นคว้าอย่างเหมาะสมและเพียงพอ	4 (73.3%)	4.13	0.507
30. ในภาควิชามีเครื่องคอมพิวเตอร์และระบบอินเทอร์เน็ตอย่างเหมาะสมและเพียงพอ	4 (43.3%)	3.77	0.728

ตารางที่ 8 ความแปรปรวนทางเดียวสำหรับการใช้วิธีการสอนหลากหลายเหมาะสมกับเนื้อหาวิชาที่เรียน

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P-Value
ระหว่างกลุ่ม	0.450	3	0.150	0.517	0.675
ภายในกลุ่ม	7.550	26	0.290		
รวม	8.000	29			

*หมายเหตุ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05

ตารางที่ 9 ผลต่างของค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบรายกลุ่มสำหรับการใช้วิธีการสอนหลากหลายเหมาะสมกับเนื้อหาวิชาที่เรียน

ตำแหน่งทางวิชาการ	ค่าเฉลี่ย	ผลต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม / P-Value			
		อาจารย์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	รองศาสตราจารย์	ศาสตราจารย์
		3.80	4.00	4.00	4.25
อาจารย์	3.80	-	-0.20 / 0.475	-0.20 / 0.562	-0.45 / 0.224
ผู้ช่วยศาสตราจารย์	4.00		-	0.00 / 1.000	-0.25 / 0.414
รองศาสตราจารย์	4.00			-	-0.25 / 0.495
ศาสตราจารย์	4.25				-

*หมายเหตุ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05

พบว่า แบบสอบถามทั้ง 5 ด้านมีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับดีถึงดีมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.804-0.931 ได้แก่ ด้านรายวิชาในหลักสูตร (0.891) ด้านผู้สอน (0.931) ด้านการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน (0.844) ด้านการวัดและประเมินผลการเรียนการสอน (0.840) และด้านปัจจัยสนับสนุนการเรียนการสอน (0.804) ซึ่งแสดงว่า

Shapiro-Wilk test และตรวจสอบความเท่ากันของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มด้วย Levene's test

ผลการตรวจสอบการแจกแจงปกติพบว่าข้อมูลบางกลุ่มมีการแจกแจงที่แตกต่างจากการแจกแจงปกติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ ANOVA สามารถใช้ได้เนื่องจาก

มีความทนทานต่อการเบี่ยงเบนจากการแจกแจงปกติในกรณี
ที่ขนาดตัวอย่างเพียงพอ

ผลการทดสอบ Levene's test พบว่า Google Meet มีความแปรปรวนของข้อมูลระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.691$) ในขณะที่ Zoom ($p = 0.016$) และ Microsoft Teams ($p = 0.006$) มีความแปรปรวน

ด้านรายวิชาในหลักสูตรมีการปรับปรุงหลักสูตรทุก 5 ปีอย่างต่อเนื่องให้ทันสมัย และมีความเหมาะสมกับผู้เรียน ดังนั้นผลลัพธ์ความพึงพอใจจากการตอบแบบสอบถามจึงไม่แตกต่างกัน

คณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรอาหาร และสิ่งแวดล้อม มีความพร้อมในการเตรียมตัวสอน

ตารางที่ 10 ความแปรปรวนทางเดียวสำหรับการใช้งานเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์แต่ละผู้ให้บริการ

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P-Value
Zoom					
ระหว่างกลุ่ม	7.029	3	2.343	5.470	0.005*
ภายในกลุ่ม	11.137	26	0.428		
รวม	18.167	29			
Google Meet					
ระหว่างกลุ่ม	1.400	3	0.467	1.838	0.165
ภายในกลุ่ม	6.600	26	0.254		
รวม	8.000	29			
Microsoft Team					
ระหว่างกลุ่ม	7.979	3	2.660	6.294	0.002*
ภายในกลุ่ม	10.987	26	0.423		
รวม	18.967	29			

*หมายเหตุ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05

ตารางที่ 11 ผลต่างของค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบรายกลุ่มสำหรับแต่ละเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์

ตำแหน่งทางวิชาการ	ค่าเฉลี่ย	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่ม / P-Value			
		อาจารย์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์	รองศาสตราจารย์	ศาสตราจารย์
Zoom		4.00	4.44	4.40	3.00
อาจารย์	4.00	-	-0.44 / 0.203	-0.40 / 0.343	1.00 / 0.031*
ผู้ช่วยศาสตราจารย์	4.44		-	0.04 / 0.912	1.44 / <0.001*
รองศาสตราจารย์	4.40			-	1.40 / 0.004*
ศาสตราจารย์	3.00				-
Google Meet		4.20	4.00	4.20	3.50
อาจารย์	4.20	-	0.20 / 0.445	0.00 / 1.000	0.70 / 0.048*
ผู้ช่วยศาสตราจารย์	4.00		-	-0.20 / 0.445	0.50 / 0.088
รองศาสตราจารย์	4.20			-	0.70 / 0.048*
ศาสตราจารย์	3.50				-
Microsoft Team		4.80	4.31	5.00	3.25
อาจารย์	4.80	-	0.49 / 0.155	-0.20 / 0.631	1.55 / 0.001*
ผู้ช่วยศาสตราจารย์	4.31		-	-0.69 / 0.049*	1.06 / 0.007*
รองศาสตราจารย์	5.00			-	1.75 / <0.001*
ศาสตราจารย์	3.25				-

*หมายเหตุ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05

แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม

เนื่องจาก คณาจารย์ได้ถูกจัดให้อยู่ใน 3 สาขาวิชาได้แก่ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยีอาหาร และสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สิ่งแวดล้อม มีจำนวนรายวิชาที่เปิดสอนในแต่ละภาค การศึกษาประมาณ 3 วิชาต่อผู้สอน 1 คน

คณาจารย์ทั้ง 3 สาขาวิชา มีความพร้อมในการจัด กิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในแต่ละรายวิชาที่ตั้งไว้ตามจุดมุ่งหมายของหลักสูตร ทำให้นักศึกษามีส่วนร่วมในการเรียนการสอน กิจกรรมต่าง ๆ ที่ภาควิชามีการจัดขึ้น เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ใน 2 ทิศทาง ได้แก่ การเรียนรู้ด้วยตัวเองและการเรียนรู้แบบถามตอบทางสื่อออนไลน์

ผู้ใช้สื่อออนไลน์แต่ละท่านมีการใช้วิธีวัดและประเมินผล การเรียนที่แตกต่างกันออกไป เช่น การถามตอบโดยตรง การสร้างกิจกรรมตอบคำถาม การใช้แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน และการสอบไล่ในภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม มีสิ่งอำนวยความสะดวกครบครันในการเอื้ออำนวยความสะดวก แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้งานอาคารเรียน เนื่องจากอยู่ในช่วงการระบาดของโรค COVID-19 จึงจำเป็นต้องใช้งานเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวในตารางที่ 8 และ 9 พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ (ข้อ 15 จากตารางที่ 4) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ($P\text{-Value} > 0.05$) ซึ่งหมายความว่าความพึงพอใจในแต่ละกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

จากการวิเคราะห์ในตารางที่ 10 พบว่ามี 2 กรณี ได้แก่ 1) Google Meet ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} > 0.05$) และ 2) Zoom และ Microsoft Teams ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) รายละเอียดอธิบายในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว สำหรับเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์แต่ละเครื่องมือ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-Value} < 0.05$) ในกลุ่มตัวอย่างที่แบ่งตามตำแหน่งทางวิชาการ โดยเฉพาะกลุ่มศาสตราจารย์ที่มีความพึงพอใจในระดับปานกลางต่อ Zoom และ Microsoft Teams แต่มีความพึงพอใจระดับพอใจต่อ Google Meet ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับความพึงพอใจโดยรวมในตารางที่ 10 สำหรับตำแหน่งวิชาการอื่น พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญใน Microsoft Teams เพียงกรณีเดียว คือระหว่างผู้ช่วยศาสตราจารย์และรองศาสตราจารย์

3.3 ตอนที่ 3

ไม่มีข้อเสนอแนะอื่น ๆ จากคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์

4. การอภิปราย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่าในแต่ละตำแหน่งวิชาการ ความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 8 และ 9) แสดงให้เห็นว่าระดับตำแหน่งทางวิชาการไม่ได้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้หรือความพึงพอใจต่อเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือช่วยสอนแต่ละประเภท พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเฉพาะในกลุ่มศาสตราจารย์ (ตารางที่ 10 และ 11) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า “ลักษณะของแพลตฟอร์ม” มีบทบาทต่อประสบการณ์การใช้งานมากกว่าปัจจัยด้านผู้ใช้เมื่อพิจารณารายละเอียด พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเครื่องมือ Zoom Microsoft Teams โดย Microsoft Teams มีค่าความแตกต่างสูงกว่า ผลดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถของแพลตฟอร์ม (Vasishta et al., 2021) ในการรองรับการเรียนการสอนในชั้นเรียนขนาดใหญ่ โดยเฉพาะในกรณีที่มีจำนวนนักศึกษาเกิน 100 คน

ในบริบทของรายวิชาที่มีนักศึกษาจำนวนมาก การเลือกใช้แพลตฟอร์มที่สามารถรองรับผู้เข้าร่วมจำนวนมาก และมีความเสถียรในการใช้งาน จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสบการณ์ของผู้สอน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าคณาจารย์มีความพึงพอใจต่อ Microsoft Teams สูงกว่าในกลุ่มรายวิชาที่มีนักศึกษามากกว่า 100 คน

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการเลือกใช้เทคโนโลยีให้เหมาะสมกับบริบทของรายวิชา โดยเฉพาะขนาดชั้นเรียน ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกแพลตฟอร์มสำหรับการเรียนการสอนออนไลน์ ในสถานศึกษา

นอกจากนี้ประสิทธิภาพของการเรียนการสอนออนไลน์ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านผู้เรียนและผู้สอนร่วมด้วย โดยเฉพาะแรงจูงใจของผู้เรียน กลยุทธ์การเรียนรู้ และการออกแบบกิจกรรมการ

เรียนการสอนที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมในสภาพแวดล้อมออนไลน์ (Hongsuchon et al., 2022)

ในขณะเดียวกัน ผู้สอนมีบทบาทสำคัญในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีความน่าสนใจและมีปฏิสัมพันธ์ ซึ่งช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพของการเรียนรู้ในระบบออนไลน์

อย่างไรก็ตาม การอธิบายปัจจัยเชิงลึกของความแตกต่างดังกล่าวยังมีข้อจำกัด เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้เก็บข้อมูลเชิงคุณภาพเกี่ยวกับประสบการณ์การใช้งานหรือคุณลักษณะเฉพาะของแพลตฟอร์มโดยตรง ดังนั้น ในอนาคตควรมีการศึกษาปัจจัยเพิ่มเติม เช่น คุณสมบัติของแพลตฟอร์ม ความเสถียรของระบบ และการสนับสนุนด้านเทคนิค เพื่อให้สามารถอธิบายผลการวิจัยได้อย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้คณาจารย์ในภาควิชา ไม่มีข้อเสนอแนะอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์

5. บทสรุป

จากผลการศึกษาพบว่า ความพึงพอใจในการใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ของคณาจารย์โดยรวมอยู่ในระดับพอใจถึงพอใจมาก โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 3.73-4.37 และแบบสอบถามมีความเชื่อมั่นอยู่ในระดับดีถึงดีมาก (Cronbach's alpha = 0.804-0.931)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) พบว่า ความพึงพอใจในการใช้วิธีการสอนหลากหลายไม่แตกต่างกันระหว่างตำแหน่งทางวิชาการ ($P = 0.675 > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านตำแหน่งทางวิชาการไม่มีอิทธิพลต่อการใช้งานเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเครื่องมือช่วยสอนออนไลน์แต่ละประเภท พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน Zoom ($P = 0.005$) และ Microsoft Teams ($P = 0.002$) ในขณะที่ Google Meet ไม่พบความแตกต่าง ($P = 0.165$)

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า “ลักษณะของแพลตฟอร์ม” มีอิทธิพลต่อประสบการณ์การใช้งานมากกว่าปัจจัยด้านผู้ใช้ โดยเฉพาะในรายวิชาที่มีจำนวนนักศึกษาแตกต่างกัน

ดังนั้น การเลือกใช้เครื่องมือช่วยสอนออนไลน์ควรพิจารณาให้เหมาะสมกับการเรียนการสอน โดยเฉพาะขนาดชั้นเรียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ในสถานศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุน จากคณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลขที่สัญญา 661141 และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนต์ทิพย์ คงตันจันทร์พัก และ นายสทาร์ชวี เพียรเพื่องฟู ที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- Barman, D., & Roy, S. K. (2023). The Transition from Offline to Online: Unveiling the Challenges and Opportunities. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(4), 4444.
- Camargo, C. P., Tempiski, P. Z., Busnardo, F. F., Martins, M. D. A., & Gemperli, R. (2020). Online learning and COVID-19: a meta-synthesis analysis. *Clinics*, 75, e2286. <https://doi.org/10.6061/clinics/2020/e2286>
- Dawley, L. (Ed.). (2007). *The tools for successful online teaching*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-956-4>
- Dhawan, S. (2020). Online Learning: A Panacea in the Time of COVID-19 Crisis. *Journal of Educational Technology Systems*, 49, 5-22. <https://doi.org/10.1177/0047239520934018>
- Gregory, S., & Bannister-Tyrrell, M. (2017). Digital learner presence and online teaching tools: higher cognitive requirements of online learners for effective learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12, 1-17. <https://doi.org/10.1186/s41039-017-0059-3>
- Hongsuchon, T., Emary, I.M., Hariguna, T., & Qhal, E.M. (2022). Assessing the Impact of Online-Learning Effectiveness and Benefits in Knowledge Management, the Antecedent of Online-Learning Strategies and Motivations: An Empirical Study. *Sustainability*, 14(5), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su14052570>
- Jena, P. K. (2020). Online learning during lockdown period for covid-19 in India. *International Journal of Multidisciplinary Educational Research (IJMER)*, 9.
- Prahani, B. K., & Cheng, T. H. (2020). “New Normal” in Learning and Teaching. *Studies in Learning and Teaching*, 1(2), 63-65. <https://doi.org/10.46627/silet.v1i2.41>
- Suwastini, N. K. A., Dewi, K. I. R., & Dantes, G. R. (2023). Benefits of online learning according to recent studies. *Jurnal Inovasi Dan Teknologi Pembelajaran*, 10(1), 32-42. <https://doi.org/10.17977/um031v10i12023p031>
- Vasishta, P. A., Roy, A., & Sivaswamy, V. (2021). Online Tools for Teaching and Learning. *Journal of Contemporary Issues in Business and Government*, 57(2), 534-542.
- Yuhanna, I.S., Alexander, A., & Kachik, A. (2020). Advantages and disadvantages of Online Learning. *Journal Educational Verkenning*, 1-7. <https://doi.org/10.48173/jev.v1i2.54>