

วารสาร มรภ.กพ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

SCOPE :

Pure/Applied/Educational Sciences

Physics, Chemistry, Biology,
Mathematics, Computer Science,
Food Science and Technology,
Information Technology,
Environmental Science,
Public Health

Published by

Faculty of Science and Technology
Kamphaeng Phet Rajabhat University

<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt>

วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ถูกจัดทำขึ้นให้เป็นสื่อกลางในการรวบรวมและเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ สำหรับนักวิชาการ นักวิจัย บุคลากรทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป โดยไม่หวังผลกำไรในการดำเนินการต่างๆ เพื่อใช้ในการเพิ่มพูนองค์ความรู้และใช้เป็นผลงานทางวิชาการสำหรับผู้สนใจในด้านวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

เจ้าของ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร		
เว็บไซต์	https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt		
หัวหน้าบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
รองหัวหน้าบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุจน์ พิพรรธนจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์ สอนมะลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัตรี โพธิ์ระวัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	อาจารย์กิริศักดิ์ พะยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	อาจารย์ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ฝ่ายจัดการ	นายประทีป เพ็ญแจ้ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	นายกฤษณะ จันทร	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	

ขอบเขต เป็นวารสารที่รับบทความวิจัยและบทความวิชาการในด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์/ประยุกต์/การศึกษา ในสาขาวิชา ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ สิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการอาหาร สาธารณสุขศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ภาษาที่พิมพ์ ภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ

รูปแบบการประเมินบทความ วารสารนี้มีรูปแบบการประเมินบทความแบบ Double Blinded และผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความมาจากหน่วยงานที่ไม่ใช่หน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์และผู้ร่วมประพันธ์ จำนวน 3 ท่าน จากหน่วยงานที่ต่างกัน และบทความจะต้องได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์จากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 ท่าน

กำหนดการออกวารสาร 2 ฉบับ/ปี ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

จำนวนบทความ/ฉบับ 8 - 10 บทความ/ฉบับ

ผู้สนับสนุน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, MOU เครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ 4 สถาบัน, บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) จังหวัดกำแพงเพชร

กองบรรณาธิการ	Professor Dr. Boyko	Gyurov	Georgia Gwinnett College USA
	ศาสตราจารย์ ดร.ทศวรรษ	สีตะวัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
	ศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์	เพชรโรจน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	Associate Prof. Dr. Bounphanh	Tonpheng	National University of Laos
	รองศาสตราจารย์ ดร.สายัญ	ปันมา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	มาสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิรต์น	มูลศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวจี	ยะสะกะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์	พิญาพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุการ	ดาจันทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	รองศาสตราจารย์อุมาพร	ฉัตรวิโรจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์	กบ้งเกิด	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	ชูสำโรง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์	เขมาชีวกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกลักษณ์	สุนนพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล- ล้านนา ตาก
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุจรี	สิงห์พันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์	สุวรรณราช	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินันท์	ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรีย์	พิมพ์พิมุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร	พงศ์ธรพฤษ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา	วทานีเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ	เสื่อนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมินทร์	ตันอุตม์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หมัมิษา	ตันติสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรจงศักดิ์	พักสมบุรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แดนชัย	เครื่องเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร	วงศา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร	ฤทธิธรรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	Dr. Phoui	Souksomvang	National University of Laos
	Dr. Phengxay	Deevanhxay	National University of Laos
	Dr. Somsack	Inthasone	National University of Laos
	Dr. Somphouthone	Phimmachak	National University of Laos
	อาจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี	แสนยาเจริญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทบรรณาธิการ

วารสาร มรภ.ภพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ถูกจัดทำขึ้นให้เป็นสื่อกลางในการรวบรวม และเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ สำหรับนักวิชาการ นักวิจัย บุคลากรทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป โดยไม่หวังผลกำไรในการดำเนินการต่างๆ เพื่อใช้ในการเพิ่มพูนองค์ความรู้และใช้เป็นผลงานทางวิชาการสำหรับผู้สนใจในด้านวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

วารสารนี้เผยแพร่เป็นปีที่ 1 ฉบับที่ 2 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นการนำเสนอบทความวิจัยทั้งหมด 8 เรื่อง มีเนื้อหาครอบคลุมในสาขาสาธารณสุขศาสตร์ ฟิสิกส์ ชีววิทยา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีพลังงาน และสังคมศาสตร์ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ตามลำดับ โดยทุกบทความมีผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเป็นผู้ประเมิน จำนวน 3 ท่านต่อบทความ ซึ่งมาจากหน่วยงานที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทำผลงานวิชาการ หรือนำไปประยุกต์ในการบริการวิชาการได้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้อ่าน ที่ให้ความสนใจติดตามวารสาร ทั้งนี้ ทางวารสารจะพัฒนาในส่วนเนื้อหาของอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความถูกต้อง ทันสมัย และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน พบกันใหม่ในฉบับหน้า

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา
หัวหน้าบรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	i
บทบรรณาธิการ	iii
■ บทความวิจัย ■	
Drug Use Among Agricultural Related Workers	107
▶ Narumon Janma	
ผลเฉลยเฉพาะเจาะจงของสมการการเคลื่อนที่อนุภาคเดี่ยวภายใต้ศักย์แบบเลนาร์ด-โจนส์	121
▶ สรายุทธ์ พานเทียน	
ชีววิทยาบางประการของเอื้องเขาแกะ (วงศ์กล้วยไม้) ในอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร	127
▶ ธนากร วงษ์ศา	
การประเมินความเป็นพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อปลาไนและกุ้งฝอยน้ำจืด	139
▶ กิตติชัย จันธิมา	
พฤติกรรมผู้บริโภคอาหาร : กรณีศึกษานักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	149
▶ วสุนธรา รตโนภาส	
การคำนวณสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าคงที่และสนามแม่เหล็กด้วย วิธีการแบบดั้งเดิม	161
▶ สรายุทธ์ พานเทียน	
การศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ทกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร	167
▶ เทพ เกื้อทวีกุล	
การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ผ่านคุณภาพการบริการ ของสถาบันสมาร์ท เบน	179
▶ ยุพาวดี อุทสิงห์	

Drug Use Among Agricultural Related Workers

Narumon Janma^{1,*}

¹Public health Program, Faculty of Science and Technology,
Phetchaboon Rajabhat University, Thailand, 67000

Abstract

Background: Agricultural products significantly contributed to Thailand's economy. In the context of the drug use epidemic, government statistics reported a portion of the population accessed a drug treatment system only 1.2% in 2016. The objective of the study has twofolds, to seek drug use prevalence among agricultural related workers, and to explore drug use behaviour for accelerating their productivity.

Material and Methods: combined research design, cross-sectional survey, and qualitative methods were integrated into the study. study was conducted. 2936 agricultural related workers from 10 provinces throughout Thailand were studied. trained interviewers conducted semi-structured interview. In addition, 124 current users were explore on their drug use pattern and behaviour qualitatively.

Results: It is emerged that drug use annual prevalence was 54.1%. Illicit drugs and non-medical pharmaceutical were used throughout agricultural process, from preparation to harvesting and transporting their products. Stimulants, cannabis, and depressants were popular and easily accessible. Methamphetamine was predominantly used to increased their productivity throughout agricultural process.

Conclusions: Agricultural work facilitated the spread of drugs. The design of the surveillance system should be taking into account.

* Corresponding author : narumon.jan@pcru.ac.th

Keywords : drug use, agricultural related workers, Thailand

Introduction

Drug abuse has been recognized as social and health problems. The United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) estimated 5.6% of the global adult population used drugs in 2016. Moreover, over 10% of those drug users suffer from drug use disorders [1]. In ASEAN, the rate of drug users in 2016 who accessed to the treatment system was 27.8 in a hundred thousand population. Over 80% of the people who were given treatment were methamphetamine users [2]. In Thailand, the latest household survey was done in 2016 reported 1.4 million Thai population age 12-65 years old used drugs which correspond to 27.97 in a thousand population. Results from the last national survey emerged that the top three popular drugs used among general population were cannabis, kratom and methamphetamine respectively [3]. The government statistic reported only 12.9% of this estimate access to treatment system in 2016 [4]. Although drug use in Thailand was lower than its epidemic worldwide, it has been national target since 2001 [5].

Thailand has been burdened with the demand for illicit substances since 1360. The common indigenous natural products are cannabis, kratom (*Mitragyna speciosa korth*), and opium. The first heroin epidemic emerged in 1960. The sniffing of volatile substances, benzene, lacquer and glue first appeared in the late 1970s. Amphetamines Type Stimulants, synthetic drugs, evolved into a major epidemic in the early 1990s [6]. In late the 1990's, the abuse of a new set of substances, ecstasy, ketamine, crystalline methamphetamine, cocaine and hashish emerged [7]. Finally, during recent years the abuse of prescription drugs and new psychoactive substances (NPS) has become evident [8]. However, official statistics reported that the biggest portion of drug users who accessed to get treatment was methamphetamine users [1]. Since cannabis and kratom are less harm than other drugs, only a few users need for treatment.

In general, people begin taking drugs for a variety of reasons. Stimulants are considered to reduce fatigue and enhance concentration eg. in performing protracted tasks requiring maintenance of attention in monotonous situations [9]. Methamphetamine, one among others Amphetamine-Type-Stimulants (ATS), was popularly used among ASEAN member states, in crystal form, powder or pill [2]. In Thailand, methamphetamine was used for recreational purposes, work related, and health/beauty [3].

Thailand situates in the heart of mainland Southeast Asia. Its area of 200,000 sq.miles with around 67 million population, of these 30.9% are agricultural workers [1]. Although agricultural pro-

ducts accounted for 10% of annual GDP, reflecting agricultural workers as the most vulnerable group, lowest in economic chains. The Thai government declared development direction to become “World Kitchen” (NESDB). In addition, there is more competition in agricultural export products globally. This situation enforced agricultural-related workers to better living by working more productively. It is hypothesised that, perhaps, using stimulants both caffeine (legal) and amphetamine (illegal) is a mean to an end. Although evidences emerged that agricultural related workers use drugs, pattern of use particularly functional use is unclear. The objective of this study has twofolds; to estimate the number of drug users among agricultural related workers, and to explore pattern of use for accelerating their productivity along agricultural activities.

Materials and Methods

This was a combined research design, cross sectional survey and qualitative methods were integrated. In the survey, Network Scale-up (NSU) method was used to estimate the number of drug users. The network scale-up method is a social network method for estimating the size of hard-to-reach populations. There are three steps;

- 1) to assume the relationship among personal network size, total population, and size of target sub-population,
- 2) to calculate personal network size, and
- 3) to estimate the group of interest.

Population and samples

In 2017, the Thai agricultural related workers registered was 5,911,567 individuals. [10] Only agricultural related workers who were staying in the household for >3 months in 2016 were eligible to participate in the survey.

No drug survey among agricultural related workers was conducted prior to this study; therefore, the parameter used was the prevalence of substances used from the previous national household survey in 2016 [2]. With an expected 10% non-response, sample size was calculated to estimate the proportion of drug use with an estimate of $\pm 1\%$, resulting in a sample of 3140 individuals. To commence the survey, stratified three-stage cluster sampling was employed. Thailand was stratified into 10 zones based on geographical regional basis, each zone was systematically sampled province (one zone one province). Each province was mapped their agricultural zones, each zone comprising of 300-500 households. Fourteen zones were randomly selected from each province, 140

zones altogether. Households were systematically selected from updated map of individual zone. The number of households was determined probability proportional to size. Simple random sampling with table was employed to get the samples from each household (one household one sample). Of 3140 intended samples, 2936 individuals (93.5%) agreed to participate in the survey (age ranging from 16 to 69 years old with an average of 36.6, 61.3% (1799) were males).

After the baseline survey, however, non-drug users were exclusions editorial. 124 current users agree to participate as key informants in qualitative study (age ranging from 18 to 58 years old with an average of 27.4, 88.7% (110) were males).

Outcome of interest

The outcome of the study was prevalence of illicit drug and non-medical pharmaceutical use. The past-year prevalence or current use in this study defined as taking drug at least once in the past 12 months from the interview date.

Tools

The interview questionnaire, which was developed by 12 experts, comprised five sections: 1) socio demographics, 2) network size, 3) substance use, 4) treatment history, and 5) substance literacy. The Thai Substance Literacy Scale: TSLS developed by Momen et.al. (Momen et.al. 2015). The internal consistency was 0.83. Concurrent validity was 0.67 and content validity index was 0.96. In addition, structured questionnaires and interview guidelines for the qualitative study were developed by the research team.

Data collection

Twenty research assistants (two for each province, one male, one female) were trained to complete fieldwork that included updating a community map, devising a household sampling frame, selecting samples, asking permission for informed consent, and interviewing the sample. The research assistants asked the intended samples to provide written consent, waited a few days to allow participants time to make their decision, and came back to collect the data. Data were collected from September to November 2017 through private, face-to-face semi-interviews. Participants regulated place and time for interview on their convenient basis (participants' households or other convenient place, and time). An average of 1–1.5 hours was spent with each interview. After the interview, research assistants asked drug users for written consent to become key informants. Only those who

consent as key informants (124) were studied qualitatively. again key informants regulated place and time for interview on their convenient basis. Participant observation was employed only those who gave permission to observe. Research assistants and research team conducted participant observation and in-depth interview during September 2017 to July 2018 (3-5 times for each informant interview, 2-3 days).

Data analysis

The data were double-entered into a computer and validated. The data set was analyzed by frequency, percentage, mean, standard deviation (SD).

Qualitative data was analyzed by content analysis, which involved transcribing the data, encoding the transcribed data and comparing the encoded data before extracting conclusions.

Ethics statement

This research project was approved by the Human Research Ethical Committee of Khon Kaen University (approval no. HE601238) and was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki and ICH GCP standards. Written informed consent was obtained from the participants and from the parents/guardians of minors.

Result

Drug use among agricultural related workers was 36 years; 12.4 % of the workers were aged under 25 years and 24.6% had obtained elementary education and lower. One-third were below the poverty line. A few reported histories of drug treatment in the government system. 29.4% was currently smoked while 19.1% smoked habitually (over 20 days in past month), and 17.9% smoked over 1 pace daily. 48.7% currently alcohol drinkers while 30.4% drank habitually, and 24.1% drank over 50 mg/% every time. Everyone drank energy drink within past year. Although energy drink In Thailand are vary, the government control every brand of energy drink must contained 50 mg of caffeine or less. 46.0% of the sample drank energy drinks habitually, while 30.7% received caffeine over 100 mg daily. Among agricultural related workers, 73.5% (2158) experience using drugs (illicit and non-medical pharmaceutical) in their life course. 54.1% (1588) were currently used. The types of drug use were shown in Table 1. Among current users, 5.6% poly drug users (using combined drugs and applied more than one drug at once) while 0.7% used drug through injection. Shown in Table 1.

Table 1: Distribution of agriculture-related workers. Values are presented as number (%)

Variable	Male	Female	Total
Analgesics	81.08%	81.21%	81.13%
Opiates/Codeine	64.13%	63.52%	63.88%
Sedative	20.13%	22.36%	21.11%
Opioids	2.32%	0.50%	1.52%
Kratom	3.68%	0.49%	2.30%
Cannabis	7.00%	1.44%	4.72%
Opium	1.95%	0.49%	1.30%
Ecstasy	0.78%	0.49%	0.65%
Ketamine	0.39%	0.48%	0.43%
Cocaine	0.40%	0.48%	0.44%
Heroin	1.17%	0.49%	0.87%
Volatile	3.68%	1.45%	2.71%
Yaba/Meth Tab.	10.56%	14.21%	11.96%
ICE/Meth Crystal	5.00%	0.97%	3.29%

Among current users, Stimulants were used to accelerate their productivity in agricultural activities. 11.9% of workers used methamphetamine both tablet and crystal form.

Patterns of use during the working process are demonstrated.

There is a tendency to illicit drug in soil preparation, harvesting and marketing to four types: vegetable cultivation, rice farm, gardening, and cropping. As follows:

1. Soil preparation

1.1 Vegetables grow

Soil preparation is a sure way to keep up with the soil so that it can be up-to-date with the planting process. Hired the owner of the plow is a broker for land plots 400-700 Baht per rai depending on the area. If plowing 600-1,000 Baht per rai, the broker will prepare drinks, canned coffee, and alcohol, the driver will find amphetamine before starting work and be prepared to use it while working to tolerate drowsiness, work night, and drink alcohol after work.

"Use methamphetamine to work hard. If this is not smoked, it is not a work / turn to smoke. Can work twice (FP1)

If you do not use it, it will be sleepy, drink coffee / if morning shift is not used. Only use the late shift night"(FP3, FP7).

"Cannabis relaxed without pain"(FP1)

"Using amphetamines to promote instant work"(FP5, FP6, FP10)

"To suck it out, do not sleepy, when run out drink water and eat desserts."(FP12)

1.2 Rice growing

The owner of the farm will hire a tractor 2-3 times before releasing the water. This process must be rushed to the rain to catch the grain. The plowing procedure is to use drugs before work, increase diligence, work on time, and be weather resistant.

"When using amphetamine mixed with Ice, focus on happiness and think diligently"(FF5).

"Smoke 2 tablets a day before work, it will all day"(FF1)

"The plowed night is better than the long lasting"(FF2)

"Amphetamines only work nightly, do not use every day"(FF5, FF3)

"Used to work 8 hours a day if continue to use more"(FF4,).

1.3 Crops

The most common is sugar cane. Cassava and corn fields, it was found that the process of drug use in cassava and corn fields. Similarities from soil preparation. The plowing and plowing will be used before work and again around the night digging holes to work up, not sleepy.

"Amphetamine used to work for power to work"(FFC2)

"Using Amphetamine to work long"(FFC1, FFC3)

"Amphetamine makes the mood better, work continuously to be myself"(FFC5)

2. Care

2.1 Vegetables growing

The owner of a vegetable garden or contractor will bring the amphetamine mixed with water to drink for the workforce, sunlight, and work quickly to get more jobs. This will use the amphetamine to stimulate the night because it must be injected insecticides, insecticides, fecal matter, watering, and grasping the vegetables in the marijuana group used during work and after work for a good mood.

"Using amphetamines because of increased strength, quick work, mobility, more work" (FP28, FP31).

"Smoke amphetamines are not sleepy, not hungry, they are good power"(FP22, FP19)

"It is not good to masturbate, just to finish work"(FP6)

"Marijuana makes a good mood. Work alone can be very comfortable "(FP33)

"Amphetamine was results in diligent and work faster"(FP35).

"How do you know that the employer mixed amphetamines in the water to drink, to work on time"(FP4, FP9).

2.2 Rice field growing

The step was hormones, fertilizers, insecticides, fungicides, hired labor, and care for every nourishment, but few people work in many rais, contract farming as a farm and the remaining force to get more work, so it is necessary to rely on drug use. It is used to mix water and smoke, before working to stimulate the body to increase strength, not be drowsy and get more work, after work, no pain, and compensation for 60-80 baht for rai.

"Feel good to work hard"(FF6)

"Have a lot of emotions, but I'm comfortable"(FF8)

"Awake like as strong one"(FF12)

"Very impulsive, very diligent not tired "(FF7)

"Sure, if use pump more amphetamines and effective work (FF1, FF10)

"Amphetamines 4 tablets mixed with Ice, then work longer hours than the day and night, do not add often"(FF5)

2.3 Gardening

It was found that in the process of insecticide injection, slicing of rubber, acid water, fertilizer after the cut and the grass was on a broker, the contractor is a farmer and labor is a subordinate all steps rely on drugs, recruiters to mix water and use drugs themselves to stimulate the need to tolerate drowsiness. Tires from midnight to morning can be paid 40 percent. Daytime nourishment and weeding, and take care of other garden, cut down on dressing, fertilizing, laboring, gardening, using drugs for most work, hired as a group, all of whom use drugs to boost their work, compensation is paid every 15 days, the fertilizer fee is 240-300 Baht per day, weed control 500-750 Baht per rai, and pruning price is 1,500 Baht per rai.

"The amphetamine can make body endure, more work, and work with effectively"(FFC10)

"Smoke within a minute, it will freshly, and want to work"(FFC5)

"The labors of pumping amphetamines use to work / but the teenagers will tolerate it."(FFC3)

"The work will be faster, the cold body is used to keep the amphetamine in working order."
(FFC14)

"There is work to feel valued, smoke amphetamine for heavy duty night shift"(FFC2, FFC6)

2.4 Crop

Maintenance to rely on drugs to withstand high sunshine, put in fertilizer, weed and keep yield bearing. These steps use the physical endurance of the drug after work, no fatigue, any pain, if added to the drug, the evening can take care of the farm all night to watch the farm while the yield. The process of sugarcane plantation is quite complicated because the production process has many steps. Labor is so dependent on drugs that it is worth the effort of the hard-working and sub-traffickers. During the sugarcane opening season, sugar cane cutting process, from the process of maintenance, sugarcane is hired. Fertilizer, brokers are employed by the owner of the farm. The recruiter will bring the drug mixed with water to the farm laborer to drink for work, to endure and finish work faster.

"When smoke amphetamine, forget the problems, make happy to work, but it is not true happiness"(FFC14)

"After 2 minutes of amphetamine pumping, concentrate and work faster"(FFC3).

"The amphetamine makes it hard to work, but do not sleep, and have to work for 2 day in the farm, in the third day, it can sleep at normal times."(FFC9)

3. Harvesting

3.1 Vegetables growing

When vegetables are mature enough to be sold, will hire laborers to cut the vegetables, which are paid by the amount of vegetables that are cut or the farmer is charged at 50 satang per kilogram - 2 baht. Increase the body weight to cut more vegetables to get more compensation. Marijuana used before work, in the breaks time and after work to adjust the mood to work happily.

"Amphetamine stimulates the body, eyes bright, has more work force"(FP3)

"Do not get tired if use amphetamine to work and cut vegetables all night"(FP6)

"Cut vegetables from 03.00 p.m. to 05.00 a.m., many of them transported to the car, especially in the rainy season will smoke for 2 times, at the vegetables farm site to 2-4 tablets "(FP12).

3.2 Rice field growing

Harvesting in this process, the most commonly used harvesters for the harvest car driver will get fee is 450-500 Baht per rai to use for work longer and more resistant to get more jobs each day.

"Use the amphetamine to drive a good harvest, concentrate on stress relief"(FF3)
 "Get multiple conversions, do not tired, need to accelerate harvest. Smoke 2 tablets of amphetamine in the morning and evening time"(FF13)
 "Amphetamine morning before work, good work, resist to the sunlight, can drive to the night"(FF4)
 "Smoke before driving, get driving all day, need to accelerate"(FF1)
 "The first amphetamine smoking to get stimulate was working as a harvest driver."(FF7)

3.3 Gardening

Harvest time to accelerate export time of production to keep up with high prices. The order and ripeness of the fruit itself. Workers use their own drugs, estimates of their power, and the frequency and frequency of drug use. It is used before work and bearings keep yield.

"The amphetamine helps to fill the vigor and energy of the fruit and the pick up the production to the truck and get 2 fee"(FG5).
 "When were exhausted, use the amphetamine to finish work on time to pick up"(FG1, FG2).
 "It feels good, it's working, use again before go to rubber cutting"(FG11, FG17)

3.4 Crops

When the crop is fully grown, there will be a broker who receives a quota from the sugar factory to deliver the sugarcane to the factory for the duration and amount of the quota. So, brokers have to cut sugar cane for cutting. Labor group will get to cut the sugar cane, in addition to the factory car transport. To enter the factory to meet the deadline by the agreed time. In this process, there is the problem of drug use, because it is time to work with time. The process starts with cutting the sugar cane into the car. These processes get the quotas to hire workers. The replacement value is based on the amount of truncated bundles. The drug is used both by the employer and by the drug itself to be able to work longer hours in exchange for money. And accelerate with time to affect the quality of sugar cane.

"Amphetamine is fun to work, relaxed work"(FFC1)

"Continuous work, feel good when using amphetamines, ensure you get the job without wasting time"(FFC10)

"Addictive and relaxed body and mind, cut sugar cane work all night, increase labor 2-3 times the contractor"(FFC17, FFC22)

"Enjoy not tired, happy smile, not stressed, good mood, cannabis inexpensive 100-200 baht per day, can be cooked 6 pounder 18-20"(FFC12)

"Used amphetamine in the morning before cutting sugar cane for 6 hours, the break time to use again to force up to 09.00 p.m., in the night working used again, when go to bed, will smoke marijuana to reduce the amphetamine"(FFC2, FFC16)

4. Deliver the market

4.1 Vegetables growing

This process will employ labor by paying a compensation of 600 baht per car using amphetamine before work for awake, fast working, and hardly working, in the cannabis group before work and work breaks do not seem to be hasty, but timely. Finally, transport vegetables from the garden to the central market. The driver will work in the evening until 06.00 a.m. in the morning, so, has to rely on drugs before work and hard to use before the power to stimulate the body and mind while driving, calm down. Another feature to drive vegetables to market centers. This vegetable transportation driver will have to travel to the middle market during the day to order vegetable to travel from the source to the main market will have to arrive before 01.00 a.m. to catch the middleman to pick up and sell. In this process, the driver sends the vegetables to use the substance to keep the car driving longer. Not sleepy and timely, if the season is over, the vegetables will be around to run the vegetables all day and night.

"Concentrate on driving confidently, drive well in time, send the big market before midnight, carry a bag sink back legs"(FP3)

"Drive vegetables on the way, he used amphetamine in the forest, patience, calm, calm to drive vegetables all night, especially in winter and rainy season, keep up the middleman for high vegetable prices"(FP4, FG7)

4.2 Crops

Transportation from farm to factory in this process, if the cane trucks are to be reared, the cane must be drained overnight to have a chance to use the drug to withstand drowsiness. In general, the owner's litter truck is not found in the use of narcotics because the daily transport to the factory is based on the cycle. Not hastily with time, the next step is to process the sugar cane factory, to

meet with drug users, such as the side of the hook, sugar stew, boiler control system and workers carrying sugar cane. The process of production is mainly used by the mechanics. There is no drug use, employees work around is not drug.

"Use amphetamine to withstand sleepiness at night, day and night running"(FFC3, FFC9)
"No sleep, good drive car, no fear, and transport of sugar cane delivery to the factory timely"(FFC4) [In Thai]

Interviews with agricultural operators revealed that every aspect of the job was contracted with both regular and temporary workers. The drug use behavior of the agricultural workers was found to be that the workers were using their own drugs for their own work by smoking or using the amphetamines in the central water tank. Employers know the behavior of drug use is prohibitive, but what the entrepreneur is interested in the job is done on time and create a solution if the mistake. The accident at work or the owner of the establishment will not represent any guarantee or provide any assistance.

The past, found that labor of marijuana cultivation in the field of corn, and planting the cottage by the rubber plantation, less laborers buy less drugs to use each day. Do not keep too much will increase the risk if the news out. Drug addicts such as not eyes contact, and specific smell, diligent to work only, one dose of 4 tablets, 4 parts alone, this is equal to 1 part of women pumped 2 times a day, use Ice to mix. There are two things to consider: safety from smoking and perception of the drug. The dosage is in the range of 2-20 tablets per day divided into 2-5 hours.

Discussion

This study was conducted to investigate drug use behaviors for working in the agricultural sector in Thailand by in-depth interview with 124 people. This study shows that the current situation of drug use among agricultural workers has spread to regular and contracted workers, indicating that access to narcotics is increasing, easy and accessible, the use of drugs for work is normal and can be done in any cases, places and times.

According to Kristy Moroney's Drug Problems on-Farm study in 2017, the drug is easy to use. The use of drugs is part of their daily routine. Workers feel that drugs make them more relaxed, methamphetamine, feeling happy and free. The brain thinks and decides to plan effectively between 8-12 hours. At end of drug, the user feels tired, cannot think or control emotions. Workers say, "Take methamphetamine, it is easy to grow quickly or grow a lot ", "I earn money to buy drugs and need medicine to earn money. ", "I cannot start the day until I take methamphetamine". Sticking is an important factor in the cultivation of agriculture.

Working hours are related to the use of narcotic drugs, beliefs and behaviors and culture in the workplace such as using drugs to withstand heavy work, to stimulate, behavior related to narcotic use among marginal workers (13.7%), followed by amphetamines (9%), people who use work-related occupations tend to use drugs and alcohol more than those who do not, and they will see the impact when drug users go long-term, such as free of charge about rehabilitation of the body and mental deterioration; impact on families, communities and others loses capacity. All most agricultural workers found that the first ingredient used was marijuana, followed by cocaine (88.9% or 113 out of 127) and second (79.2% or 88% 111), respectively which consistent with the Drug Use Pattern among Health Care workers 2016, drug use patterns in the US labor population were highest in marijuana followed by amphetamine.

Conclusion

There are 4 types of agriculture working vegetable growing, rice field growing, gardening, and crops. The most commonly used drugs are amphetamines, marijuana, and amphetamines mixed with Ice.

The use of drugs to increase agricultural productivity is rewarding to spend to care for the family, even if the family knows that drug use, but with responsibility for the contractor, control of follower confidence in physical strength gained in drug addiction makes it more confident to work and get more jobs. Workers give priority to drugs just as a helper in work "If stop working when stop taking amphetamine" and compare the work, the drug with the drug does not differ in 2 times.

Thai workers related to drug addiction which the distribution is based on the work done, in particular by the more than 70% of agricultural workers in Thailand. The most likely drug use, the timing is determined and the quality of the produce itself.

Acknowledgments

The authors would like to thank the ISAN Academic Network, Khon Kaen University, for their generous support. The authors would also like to thank the Office of the Narcotics Control Board for funding this study.

เอกสารอ้างอิง

- [1] United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC).(2018). World drug report 2018. New York: United Nations Publication; 2018.

- [2] Kanato M., Leyatikul P., Choomwattana C. et.al. (Eds.). (2017). ASEAN DRUG MONITORING REPORT 2016. Bangkok: ASEAN Narcotics Cooperation Center.
- [3] Kanato M. et.al. (2017). National household survey on substance use 2016. Bangkok: The Office of Narcotic Control Board (ONCB).
- [4] The Office of Narcotic Control Board (ONCB). 2017. Admission statistics. unpublished statistics.
- [5] The Office of Narcotic Control Board (ONCB): Drug Situation 2543. Bangkok: The Office of Narcotic Control Board (ONCB); 2001. [in Thai].
- [6] Poshyachinda V. Heroin in Thailand. In: The 4th Anniversary of the Office of the Narcotics Control Board. Bangkok: Office of the Prime Minister; 1980: 56-87. [in Thai]
- [7] Poshyachinda V, Phittayanon P, Simasatitkul V, Perngparn U. Stimulant use, abuse and dependence in Thailand. In: Eriksen A, Abeysekara D, Boralessa MS, editors. Alcohol and drugs perspectives, prevention and control—Asia Pacific region. Sri Lanka: Alcohol and Drug Information Centre; 1998: 77-106.
- [8] Wonguppa, R., & Kanato, M. (2017). The prevalence and associated factors of new psychoactive substance use: A 2016 Thailand national household survey. *Addictive Behaviors Reports*, 7, 111–115.
- [9] Hart CL, Haney M, Nasser J, Foltin RW. Combined effects of methamphetamine and zolpidem on performance and mood during simulated night shift work. (2005). *Pharmacology Biochemistry and Behavior*. 2005 Jul 1;81(3):559-68.
- [10] Kristy Moroney. (2017). Drug problems on-farm. Mental Health Association Australia, Kondinin Group's Farming Ahead, 30 June 2017.

ผลเฉลยเฉพาะเจาะจงของสมการการเคลื่อนที่อนุภาคเดี่ยวภายใต้ศักย์ แบบเลนนาร์ด-โจนส์

The Particular Solution of the Equation of Motion of a Single Particle under Lennard-Jones Potential

สืบสกุล คนดารา, สรายุทธ์ พานเทียน*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

Seubsakun Khondara, Sarayut Pantian*

Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi province 15000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาผลเฉลยเฉพาะเจาะจงของสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดี่ยวที่อยู่ภายใต้ศักย์แบบเลนนาร์ด-โจนส์ด้วยการเปลี่ยนรูปสมการจากการกำหนดให้ $x = (r/r_e)^{-6}$ พบว่า ศักย์ของเลนนาร์ด-โจนส์ยังคงมีรูปร่างเป็นแบบพาราโบลาที่มีการเลื่อนจุดเปลี่ยนโค้งไปอยู่ที่ $r \approx 1.122r_e$ และปรากฏเงื่อนไขสองจุด คือที่ $r = 0$ และ $r = r_e$ ที่จะทำให้ศักย์เป็นศูนย์ เมื่อนำศักย์ดังกล่าวไปหาสมการการเคลื่อนที่โดยใช้สมการออยเลอร์-ลากรางจ์แล้ว พบว่า รูปสมการมีความคล้ายกับสมการการเคลื่อนที่ของการสั่นแบบฮาร์มอนิกส์ แต่เมื่อกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพื่อหาค่าคงที่เลือกได้พบว่าค่าคงที่เลือกได้มีความซับซ้อนพอสมควร อย่างไรก็ตาม สมการการเคลื่อนที่และผลเฉลยแบบเฉพาะเจาะจงที่ได้อยู่ในรูปที่มีความเหมาะสมกับการนำไปต่อยอดในการคำนวณกิริยาแบบดั้งเดิมเพื่อให้ในการหาตัวแปรและฟังก์ชันคลื่นด้วยวิธีการอินทิเกรตตามวิถีได้อีกด้วย

คำสำคัญ : ศักย์แบบเลนนาร์ด-โจนส์, กิริยาแบบดั้งเดิม, สมการออยเลอร์-ลากรางจ์, ผลเฉลยแบบเฉพาะเจาะจง, การสั่นแบบฮาร์มอนิกส์

* Corresponding author : sarayut.p@lawasri.tru.ac.th

Received : 12/10/2022

Revised : 29/11/2022

Accepted : 05/12/2022

Abstract

This research focuses on solving the particular solution of the equation of motion of a single particle under Leonard-Jones potential by defining the new parameter as $x = (r/r_e)^{-6}$. We found that the Leonard Jones potential becomes parabolic in shape with the turning point shifted to $r \approx 1.122r_e$. There are appear two conditions at $r = 0$ and $r = r_e$. We applied this potential to the Euler-Lagrange equation, it was found that the equation was similar to the equation of motion of harmonic oscillation. However, when defining the boundary conditions for arbitrary constants, the arbitrary constants are complicated form, meanwhile, the equation of motion and their particular solutions we got are in a form that is suitable for further application in calculated the classical action of the system to determine the propagator and the wavefunction by path integral method.

Keywords : Lennard-Jones potential, classical action, Euler-Lagrange equation, particular solution, harmonic oscillation.

ที่มาและความสำคัญ

การศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมสองอะตอมที่มีอันตรกิริยาต่อกันมักกำหนดให้อิเล็กตรอนถูกกักภายใต้ศักย์ดังสมการ [1,2]

$$V(r) = u \left[\left(\frac{r_e}{r} \right)^{2k} - \left(\frac{r_e}{r} \right)^k \right] \quad (1)$$

เมื่อ $u = \hbar^2 \sigma / 2mr_e^2$ และ $\hbar$ คือ ค่าคงตัวของพลังค์ (Plank's constant) หารด้วย 2π และ m คือ มวลลดทอนของทั้งสองอะตอม และ r_e คือ ระยะสมดุล (equilibrium distance) หรือ จุดเปลี่ยนโค้งที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอะตอม และ σ คือ พารามิเตอร์แสดงความแข็งแรงของศักย์ ในการพิจารณาครั้งนี้กำหนดให้พารามิเตอร์ดังกล่าวต้องมีค่ามากกว่าศูนย์, $\sigma > 0$ ทั้งนี้ พจน์ที่หนึ่งทางขวาของสมการที่ (1) แสดงถึงการผลักกันระหว่างอะตอมในขณะที่พจน์ที่สองทางขวาของสมการแสดงถึงการดูดกันระหว่างอะตอม เมื่อเรากำหนดให้ค่า k ในสมการที่ (1) มีค่าเท่ากับ 6 เราจะเรียกสมการนี้ว่าศักย์แบบเลนนาร์ด-โจนส์ (Lennard-Jones potential) ซึ่งเทียบเคียงได้กับศักย์แบบวานเดอร์วาลส์ (Van der Waals potential) ในการแก้สมการเบื้องต้นมักใช้วิธีการแยกตัวแปร (separation of variable) ในระบบพิกัดแบบทรงกลม จากนั้นจะใช้วิธีในการแก้สมการที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น อาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบผลต่างจำกัด [2] หรือวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขอื่น ๆ

งานวิจัยนี้เราทำการกำหนดตัวแปรขึ้นมาเพื่อปรับรูปสมการที่ (1) ให้สอดคล้องกับการสั่นแบบฮาร์มอนิกส์อย่างง่ายและมุ่งเน้นหาสมการการเคลื่อนที่แบบเฉพาะเจาะจงโดยใช้สมการออยเลอร์-ลากรางจ์ (Euler-Lagrange Equation) เป็นหลัก โดยมีการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเพื่อหาค่าคงที่เลือกได้ (arbitrary constant) ที่ได้จากการแก้สมการ ทั้งนี้ งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ฝึกฝนคำนวณที่จะนำไปต่อยอดศึกษาพฤติกรรมการถ่ายโอนอิเล็กตรอนด้วยวิธีการอินทิเกรตตามวิถีของไฟน์แมน (Feynman's path integral) เพื่อหาค่าตัวแพร่ (propagator) และฟังก์ชันคลื่น

(wavefunction) แม้กระทั่งต่อยอดด้วยการใช้ฟังก์ชันพาร์ติชัน (partition function) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับชั้นพลังงานของอนุภาคกับอุณหภูมิของระบบภายใต้ศักร์แบบเลนาร์ด-โจนส์ได้อีกด้วย

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นส่วนตัวแปร ๔ ดังต่อไปนี้

1. กำหนดศักร์ที่จะใช้กับกับอิล็กตรอน
2. ออกแบบการคำนวณ โดยการคำนวณมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(2.1) สมมติตัวแปรเพื่อแปลงรูปสมการ (1) โดยกำหนดให้

$$x = \left(\frac{r}{r_e} \right)^{-6} \quad (2)$$

(2.2) กำหนดลากรางเจียน (Lagrangian) ของระบบในตัวแปร x ดังสมการ

$$L(\dot{x}, x; t) = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 - V(x) \quad (3)$$

(2.3) นำศักร์ที่แปลงรูปสมการมาใส่ในสมการที่ (3) จากนั้นนำลากรางเจียนดังกล่าวมาใส่ในสมการออยเลอร์-ลากรางจ์ ในหนึ่งมิติดังสมการที่ (4)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{d\dot{x}} \right) = \frac{dL}{dx} \quad (4)$$

(2.4) แก้สมการหาผลเฉลยทั่วไปของสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้ศักร์แบบ เลนาร์ด-โจนส์ที่ได้รับ การแปลงรูปแล้ว ซึ่งสมการที่ได้จะอยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์อันดับที่สองที่ไม่เป็นเอกพันธ์ (nonhomogeneous) จึงต้องแบ่งการหาผลเฉลยออกเป็นสองส่วน คือ ผลเฉลยแบบเอกพันธ์ และแบบไม่เอกพันธ์ โดยสมมติให้คำตอบแบบไม่เอกพันธ์อยู่ในรูป $x_p = a$

(2.5) หลังจากได้ผลเฉลยทั่วไปแล้วทำการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นเพื่อหาค่าคงที่เลือกได้

$$x(t_a) = x_a \quad \text{และ} \quad x(t_b) = x_b \quad (5)$$

จากนั้น จัดรูปสมการเพื่อให้ได้สมการการเคลื่อนที่ในรูปของ $x(t)$

3. วิเคราะห์และอภิปรายผลที่ได้จากการคำนวณ
4. สรุปผลการคำนวณ

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในการนำเสนอหัวข้อผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย ผู้วิจัยนำเสนอตามหัวข้อวิธีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

- กำหนดศักย์ที่จะใช้กับกับอิเล็กตรอน ตามสมการที่ (1) โดยกำหนดให้ค่า k เท่ากับ 6 เพื่อให้สอดคล้องกับศักย์แบบเลนาร์ด-โจนส์ จะได้

$$V(r) = u \left[\left(\frac{r_e}{r} \right)^{12} - \left(\frac{r_e}{r} \right)^6 \right] \quad (6)$$

- แสดงขั้นตอนการคำนวณ ดังต่อไปนี้

(2.1) เมื่อสมมติตัวแปรดังสมการที่ (2), $x = \left(\frac{r}{r_e} \right)^{-6}$, ทำให้สมการที่ (6) เขียนใหม่ได้ว่า

$$V(r) = u [x^2 - x] \quad (7)$$

หากสังเกตสมการที่ (7) ให้ดีจะพบว่าอยู่ในรูปสมการพาราโบลาซึ่งสอดคล้องกับกราฟของศักย์แบบเลนาร์ด-โจนส์ ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นเหตุผลว่าเราไม่ได้เปลี่ยนรูปร่างของศักย์เลนาร์ด-โจนส์ เพียงแค่ปรับตำแหน่งเพียงเท่านั้น ดังนั้น เมื่อเราได้แทนค่าตัวแปรที่เราสมมติมาแล้วเพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กล่าวว่าพารามิเตอร์แสดงความแข็งแรงของศักย์ต้องมีความมากกว่าศูนย์, $\sigma > 0$, ทำให้เราได้เงื่อนไขที่จะทำให้สมการที่ (7) ไม่สามารถพิจารณาศักย์ได้ ได้แก่

$$\begin{aligned} \text{ประการที่ 1 ;} \quad & x = 0 \quad \text{ส่งผลให้} \quad r = \text{อนันต์} \\ \text{ประการที่ 2 ;} \quad & x = 1 \quad \text{ส่งผลให้} \quad r = r_e \end{aligned} \quad (8)$$

จากเงื่อนไขดังสมการที่ (8) จะพบว่าเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ค่าศักย์เท่ากับหรือเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งทำให้เราไม่สามารถพิจารณาผลของนิวเคลียสที่มีต่ออิเล็กตรอนได้ ทั้งนี้ เมื่อทำการหาจุดเปลี่ยนโค้งของศักย์สมการที่ (7) ด้วยการทำอนุพันธ์แล้วนำผลที่ได้เท่ากับศูนย์จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้ $r \approx 1.122r_e$

- (2.2) กำหนดลากรางเจียน (Lagrangian) ของระบบในรูปตัวแปร x ดังสมการที่ (4) จะได้

$$L(\dot{x}, x; t) = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 - ux^2 + ux \quad (9)$$

- (2.3) จากนั้นนำลากรางเจียนดังสมการที่ (9) ใส่ในสมการออยเลอร์-ลากรางจ์ ในหนึ่งมิติดังสมการที่ (4) จะได้สมการการเคลื่อนที่ ดังนี้

$$m\ddot{x} + 2ux - u = 0 \quad (10)$$

- (2.4) แก้สมการหาผลเฉลยทั่วไปของสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้ศักย์แบบเลนาร์ด-โจนส์ ดังสมการที่ (10) โดยแปลงรูปสมการที่ (10) ให้อยู่ในรูปที่สามารถแก้สมการได้ง่ายขึ้นกล่าวคือทำให้สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรที่อันดับสูงสุดกลายเป็นหนึ่ง จะได้

$$\ddot{x} + 2xv = v \quad (11)$$

เมื่อกำหนดให้ $v = u/m$ จะสังเกตได้ว่าสมการที่ (11) อยู่ในรูปสมการแบบไม่เอกพันธ์ ดังนั้นเราจึงเริ่มแก้สมการดังกล่าวในรูปแบบเอกพันธ์ก่อน, $\ddot{x} + 2xv = 0$, โดยสมมติคำตอบให้ $x_c = e^{\beta t}$ จะได้ผลเฉลยต่อไปนี้

$$x_c(t) = C_1 e^{i\sqrt{2}\sqrt{v}t} + C_2 e^{-i\sqrt{2}\sqrt{v}t} \quad (12)$$

จากนั้นใช้สูตรของออยเลอร์ (Euler's formula) ในการแปลงรูปผลเฉลยที่ได้ให้อยู่ในรูปฟังก์ชันตรีโกณมิติได้ผลดังสมการ

$$x_c(t) = A \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t) + B \sin(\sqrt{2}\sqrt{v}t) \quad (13)$$

เมื่อ $A = C_1 + C_2$ และ $B = i(-C_1 + C_2)$ จากนั้นหาผลเฉลยแบบไม่เอกพันธ์โดยการสมมติให้ $x_p = a$ และแทนค่าลงในสมการที่ (11) จะได้ว่า $a = 1/2$ เพราะฉะนั้นผลเฉลยรวมสามารถเขียนได้ว่า $x = x_c + x_p$ จะได้

$$x_c(t) = A \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t) + B \sin(\sqrt{2}\sqrt{v}t) + \frac{1}{2} \quad (14)$$

(2.5) หาค่าคงที่เลือกได้ A และ B โดยการใช้เงื่อนไขเริ่มต้นที่กำหนดในสมการที่ (5) จะได้

$$x_a = A \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a) + B \sin(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a) + \frac{1}{2} \quad (15a)$$

$$x_b = A \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_b) + B \sin(\sqrt{2}\sqrt{v}t_b) + \frac{1}{2} \quad (15b)$$

เปลี่ยนรูปสมการ (15a) จะได้ว่า

$$A = \frac{x_a - B \sin(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a) - \frac{1}{2}}{\cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_b)} \quad (16)$$

แทนค่าสมการที่ (16) ลงในสมการที่ (15b) พร้อมจัดรูปสมการและใช้สูตรตรีโกณมิติ $\sin(M - N)$ เพื่อหาค่า B จะได้

$$B = \frac{(x_b - \frac{1}{2}) \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a) - (x_a - \frac{1}{2}) \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_b)}{\sin \sqrt{2}\sqrt{v}(t_b - t_a)} \quad (17)$$

จากนั้น นำสมการที่ (17) แทนค่าลงในสมการที่ (16) เพื่อหาค่า A จะได้

$$A = \frac{x_a}{\cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a)} - \frac{1}{\cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a)} - \frac{x_b - \frac{1}{2} \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a)}{\sin \sqrt{2}\sqrt{v}(t_b - t_a)} + \frac{x_a - \frac{1}{2} \cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_b)}{\cos(\sqrt{2}\sqrt{v}t_a) \sin \sqrt{2}\sqrt{v}(t_b - t_a)} \quad (18)$$

เมื่อนำค่าคงที่เลือกได้ดังสมการที่ (18) และ (19) แทนลงในสมการที่ (14) จะได้สมการการเคลื่อนที่แบบดั้งเดิมที่เป็นผลเฉลยแบบเฉพาะเจาะจงในกรณีที่มีอนุภาคเดี่ยวเคลื่อนที่ภายใต้ศักย์แบบเลนาร์ต-โจนส์ ซึ่งเราพบว่าสมการการเคลื่อนที่ที่ได้มีรูปที่ใกล้เคียงกับสมการการเคลื่อนที่ที่ได้จากกรณีการสั่นแบบฮาร์

มอริกส์อย่างง่าย [3] ถึงแม้ว่าค่าคงที่เลือกได้จะมีความซับซ้อนแต่สามารถนำไปต่อยอดคำนวณหาค่ากิริยาแบบดั้งเดิม (classical action) สำหรับหาค่าตัวแปรและฟังก์ชันคลื่นด้วยวิธีการอินทิเกรตตามวิถีได้เป็นอย่างดีตามกระบวนการแสดงใน [4] ทั้งนี้ การเปลี่ยนรูปสมการศักย์ดังสมการ $x = \left(\frac{r}{r_e}\right)^{-6}$ ยังไม่กระทบต่อการพิจารณาเทอมพลังงานจลน์ของระบบเนื่องจากตัวแปรดังกล่าวแปรผันตรงกับคาร์มีเป็นเหตุให้เราสามารถคำนวณและแปรความลากรางจ์เจียนของระบบได้ตามปกติ

สรุปผลการวิจัย

การสมมติตัวแปรขึ้นมาเพื่อปรับรูปสมการศักย์แบบเลนาร์ต-โจนส์ดังสมการ $x = \left(\frac{r}{r_e}\right)^{-6}$ เพื่อให้มีความสอดคล้องกับสมการศักย์การสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายนั้น พบว่า ผลเฉลยออกมาคงรูปแบบสอดคล้องกับการสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายโดยรูปร่างของศักย์ยังคงเป็นแบบพาราโบลาที่มีการเลื่อนจุดเปลี่ยนโค้งมาอยู่ที่ $r \approx 1.122r_e$ และเงื่อนไขขอบเขตอยู่ที่ 0 และ r_e เมื่อเปลี่ยนรูปสมการศักย์แล้วสามารถคำนวณสมการการเคลื่อนที่ด้วยสมการออยเลอร์-ลากรางจ์ได้ง่ายขึ้น ทว่าเมื่อกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแล้วค่าคงที่เลือกได้ออกมามีความซับซ้อนพอสมควร ทั้งนี้ ยังพบอีกว่าการเปลี่ยนรูปสมการนี้ยังสามารถนำไปต่อยอดการคำนวณกิริยาแบบดั้งเดิมได้และสอดคล้องกับการคำนวณกิริยาแบบดั้งเดิมของการสั่นแบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนสถานที่และเวลารวมถึงผลักดันให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] J E. Jones, (1924). On the determination of molecular field- II. From the equation of state of a gas. Proc. R. Soc. Lond. A, 106(738), 463-477.
- [2] มฤเคนทร์ จอมเพชร, อาณาจักร พลจันทร์, ภ.พิงบุญ ปานศิลา, ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปราการ และเสกสรร สุขเสนา. (2562). อนุภาคในสถานะที่ถูกกักขังภายใต้ศักย์แบบเลนาร์ต-โจนส์โดยอาศัยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแบบผลต่างจำกัด. J Sci Technol MSU, 38(4), 363-369.
- [3] นิคม ชูศิริ. (2541). อินทิกรัลตามเส้นทางของก๊าซอิเล็กตรอนในระบบสองมิติภายใต้อิทธิพลของแรงฮาร์มอนิกสแนมไฟฟ้า สแนมแม่เหล็ก และศักย์แบบไรร์ระเบียบ. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [4] เอกพันธ์ จันผง, อัฐชัย ธารสุวรรณ, วิทยา ทิพย์อักษร และ นิคม ชูศิริ. (2551). อินทิกรัลตามเส้นทางสำหรับกึ่งฮาร์มอนิกออสซิลเลเตอร์. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 11(2), 24-29.

ชีววิทยาบางประการของเอื้องเขาแกะ (วงศ์กล้วยไม้)

ในอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร

Biological Study of *Rhynchostylis coelestis* Rchb.f. (Orchidaceae) in Kamphaeng Phet Historical Park

ธนากร วงษ์ศา^{1,*}, นพชัย คำเหมย¹, หนึ่งฤทัย จักรศรี¹, อนุพันธ์ กงบังเกิด²

¹โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร 62000

²หน่วยวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

Thanakorn Wongsas^{1,*}, Noppachai Khammoei¹, Nuengruethai jacksri¹, Anupan Kongbangkerd²

¹Program of Biology, Faculty of Science and Technology,

Rajabhat Kamphaeng Phet University, Kamphaeng Phet, 62000

²Plant Tissue Culture Research Unit, Department of Biology,

Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, 65000

บทคัดย่อ

การศึกษาชีววิทยาบางประการของกล้วยไม้เอื้องเขาแกะที่พบในพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร เขตอรัญญิก ขนาดพื้นที่ 2.57 ตารางกิโลเมตร เป็นระยะเวลา 16 เดือน โดยรวบรวมข้อมูลทางชีววิทยาบางประการ เช่น ลักษณะทางสัณฐาน การกระจายตัว พืชให้อาศัย และสังเกตแมลงผสมเกสรของเอื้องเขาแกะ พบประชากรเอื้องเขาแกะทั้งหมด 5,300 ต้น มีการกระจายตัวแบบกลุ่มในพื้นที่ศึกษา พืชให้อาศัยมีจำนวน 406 ต้น เอื้องเขาแกะมีการติดฝักเพียง 123 ต้น คิดเป็น 1% จากประชากรของเอื้องเขาแกะทั้งหมด 5,300 ต้น และจากการเฝ้าสังเกตเป็นเวลา 190 ชั่วโมง ไม่พบแมลงผสมเกสร

คำสำคัญ : เอื้องเขาแกะ, ชีววิทยา, การกระจายตัว, อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร

* Corresponding author : thanakorn_wo@kpru.ac.th

Received : 06/06/2022

Revised : 23/11/2022

Accepted : 08/12/2022

Abstract

Biological study of *Rhynchosytilis coelestsis* Rchb.f. distributed in the 2.57 km² of “Aranyik” urban area of Kamphaeng Phet Historical Park were periodically conducted for 16 months. Morphological patterns, distribution, phorophytes and biotic pollinators were observed and recorded. The results found that distribution of *R. coelestsis* Rchb.f. is clump pattern and totally 5,300 plants of *R. coelestsis* Rchb.f. with 406 phorophytes were noticed and counted. The results also showed that only 123 plants from a total of 5,300 plants was presented as natural pollination of fruit sets (1%) and the pollinator of *R. coelestsis* Rchb.f. did not notice for a period of 190 hours of investigation.

Keywords : *Rhynchosytilis coelestsis* Rchb.f., Biology, Distribution, Kamphaeng Phet Historical Park

ที่มาและความสำคัญ

จังหวัดกำแพงเพชร อยู่ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย มีพื้นที่ป่าสงวนภายในบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร กลางเมืองกำแพงเพชร ที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมืองฝั่งตะวันออกของแม่น้ำปิง ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 3.4 ตารางกิโลเมตร แบ่งออกเป็น 2 เขต ได้แก่ เขตภายในกำแพงเมือง มีพื้นที่ 503 ไร่ และเขตนอกกำแพงเมือง หรือที่เรียกว่าเขตรัญญิก ตั้งอยู่บนเขาสูงรูปร่างคล้ายหม้อ มีพื้นที่ 1,611 ไร่ (2.57 ตารางกิโลเมตร) โดยกรมศิลปากรได้มีการกำหนดเขตพื้นที่ดินโบราณสถานอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชรไว้เป็นเนื้อที่ทั้งหมดประมาณ 2,114 ไร่ [1] ด้วยความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ป่าดังกล่าว พบรายงานการศึกษาของ กมลทิพย์ ประเทศ [2] ในการศึกษาพันธุ์ไม้บริเวณอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร ระหว่างเดือนมิถุนายน 2542 ถึงเดือนมีนาคม 2543 ที่สำรวจพบพืชทั้งสิ้น 160 ชนิด จำนวน 59 วงศ์ 137 สกุล [2] และจากการศึกษาของธนากร วงษศา และคณะ [3] ได้สำรวจชนิดพันธุ์กล้วยไม้ในอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชรตั้งแต่ปี 2559-2562 พบประชากรกล้วยไม้เอื้องหอมเตย (*Habenaria lucida* Wall. ex Lindl.) และว่านจงนาง (*Eulophia* sp.) ซึ่งเป็นกล้วยไม้ดิน กระจายพันธุ์ในบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร เขตอรัญญิก เป็นจำนวนไม่มากนัก [3] และยังพบกล้วยไม้เอื้องเขาแกะที่มีประชากรกระจายพันธุ์อยู่บริเวณป่าเต็งรังผสมเบญจพรรณ ในพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร เขตอรัญญิก อีกด้วย [4] ถึงแม้ว่าจะมีรายงานการศึกษาสำรวจกล้วยไม้ในพื้นที่ต่าง ๆ ของจังหวัดกำแพงเพชร มาบ้าง อาทิ รายงานการศึกษาสำรวจความหลากหลายของกล้วยไม้บริเวณอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ จังหวัดกำแพงเพชร [5, 6] รวมไปถึงรายงานการศึกษาชีววิทยาบางประการของกล้วยไม้บางชนิด อาทิ กล้วยไม้หน้า [7] กล้วยไม้สิงโตธานีวัด [8] และกล้วยไม้คนคุ่มไฟ [9] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษาชีววิทยาบางประการของกล้วยไม้เอื้องเขาแกะที่พบกระจายพันธุ์พื้นที่ป่าในบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร อย่างเป็นทางการมาก่อน การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาชีววิทยาบางประการของกล้วยไม้เอื้องเขาแกะที่พบในพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร สำหรับรวบรวมเป็นข้อมูลในการวางแผนการขยายพันธุ์เพื่อการอนุรักษ์กล้วยไม้เอื้องเขาแกะที่พบในพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชรในอนาคตต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานต่าง ๆ ของเอื้องเขาแกะ ดำเนินการสุ่มเลือกเอื้องเขาแกะเพื่อการศึกษา ลักษณะทางสัณฐานต่าง ๆ เช่น จำนวนใบ ความกว้างและความยาวของใบ จำนวนดอก และลักษณะทางสัณฐานของ ตัวอย่างเมล็ดของเอื้องเขาแกะ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ ยี่ห้อ Olympus รุ่น CX43 Microscope พร้อม ชุดถ่ายภาพ

การศึกษาจำนวนของเอื้องเขาแกะและพืชให้อาศัย ทำการกำหนดพื้นที่ภายในบริเวณอุทยานประวัติศาสตร์ กำแพงเพชร เขตอรัญญิก ขนาดพื้นที่โดยรวมทั้งหมดคือ 2.57 ตารางกิโลเมตร ทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 พื้นที่ โดย กำหนดให้บริเวณของโบราณสถานที่สำคัญเป็นจุดหลักของพื้นที่ย่อยในการศึกษา ได้แก่ บริเวณพื้นที่โดยรอบวัดช้าง ครอบ (A) พื้นที่โดยรอบของวัดอวาสใหญ่ (B) พื้นที่โดยรอบของวัดพระนอน (C) และพื้นที่โดยรอบของวัดฆ้องชัย (D) (ภาพ 1) โดยทำการเดินเท้าสำรวจเอื้องเขาแกะในแต่ละพื้นที่ย่อยในบริเวณขอบเขตที่กำหนดจนครบทุกพื้นที่ ระหว่าง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 โดยทำการบันทึกค่าพิกัด Global Positioning System (GPS) ของพืชให้อาศัย (phorophyte) ที่พบเอื้องเขาแกะอิงอาศัยอยู่ และนำค่าพิกัด GPS ของพืชให้อาศัยมาระบุตำแหน่งใน แผนที่ เพื่อสร้างแผนที่การกระจายตัวของเอื้องเขาแกะภายในพื้นที่ในแต่ละบริเวณที่แบ่งเขตในการศึกษาอีกทั้งทำการ บันทึกการรายละเอียดของพืชให้อาศัย นับจำนวนเอื้องเขาแกะที่พบในพืชให้อาศัยแต่ละต้น วัดความสูงจากพื้นดินของพืช ให้อาศัยและเอื้องเขาแกะที่เกาะอาศัยอยู่ในเรือนยอดไม้ด้วยเครื่องมือวัดความสูงต้นไม้ (clinometer) บันทึกการ ออกดอกหรือการติดฝักของเอื้องเขาแกะ (ช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายน)



ภาพที่ 1: พื้นที่ย่อยในการศึกษา ได้แก่ บริเวณพื้นที่โดยรอบวัดช้างครอบ (A) พื้นที่โดยรอบของวัดอวาสใหญ่ (B) พื้นที่ โดยรอบของวัดพระนอน (C) และพื้นที่โดยรอบของวัดฆ้องชัย (D)

ที่มา: ภาพต้นฉบับได้ทำการเพิ่มเติมรายละเอียดของตำแหน่งที่ทำการศึกษา [10]

การศึกษาลักษณะแมลงผสมเกสร ในช่วงฤดูการออกดอกของเอื้องเขาแกะ กำหนดพืชให้อาศัยที่มีเอื้องเขา แกะอาศัยอยู่ จำนวน 3 ต้น โดยพิจารณาจากบริเวณที่มีการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์น้อยที่สุด ทำการเฝ้าสังเกต แมลงผสมเกสรตามธรรมชาติของเอื้องเขาแกะ ตั้งแต่เวลา 07.00 – 16.30 นาฬิกา เป็นเวลา 19 วัน (190 ชั่วโมง)

การวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: แสดงรายละเอียดทางสัณฐานและนิเวศวิทยาบางประการ

	จำนวน	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD
เอื้องเขาแก้วทั้งหมด	5,300	-	-	-
จำนวนใบ	15	8	21	11.9 $\pm$ 3.23
ความกว้างใบที่ 2 (cm)	10	1.2	3.3	1.85 $\pm$ 0.59
ความกว้างใบที่ 3 (cm)	10	1.2	3.1	1.97 $\pm$ 0.53
ความยาวใบที่ 2 (cm)	10	15	28	19.40 $\pm$ 4.57
ความยาวใบที่ 3 (cm)	10	19	27	23.00 $\pm$ 2.86
ความกว้างลำต้น (cm)	10	2	2.8	2.16 $\pm$ 0.32
ความยาวลำต้น (cm)	10	8	12	9.90 $\pm$ 1.57
ความยาวช่อดอก (cm)	3	9.2	11	10.40 $\pm$ 1.03
ความกว้างช่อดอก (cm)	3	2.7	2.8	2.76 $\pm$ 0.05
จำนวนดอก	3	11	12	11.3 $\pm$ 0.57
ความกว้างฝัก (cm)	30	0.7	1.1	0.83 $\pm$ 0.12
ความยาวฝัก (cm)	30	1.6	3.5	2.38 $\pm$ 0.53
ความกว้างเมล็ด (μ m)	100	12.57	20.15	16.71 $\pm$ 1.78
ความยาวเมล็ด (μ m)	100	25.69	40.47	33.11 $\pm$ 2.90
จำนวนต้นไม้ทั้งหมด	406	6	34	-
จำนวนต้นไม้พื้นที่ A	21	1	69	-
จำนวนต้นไม้พื้นที่ B	2	3	5	-
จำนวนต้นไม้พื้นที่ C	366	1	160	-
จำนวนต้นไม้พื้นที่ D	17	1	31	-
ความสูงต้นไม้ (m)	406	-	-	17.04 $\pm$ 5.21
ความสูงต้นไม้พื้นที่ A	21	6	26.4	13.45 $\pm$ 4.97
ความสูงต้นไม้พื้นที่ B	2	13	16	14.50 $\pm$ 2.12
ความสูงต้นไม้พื้นที่ C	366	7	34	17.35 $\pm$ 5.18
ความสูงต้นไม้พื้นที่ D	17	31	7.5	16.05 $\pm$ 5.84

หมายเหตุ: อักษรย่อ cm=centimeter, μ m=micrometer, m=meter และ SD=standard deviation

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

พื้นที่ศึกษามีสภาพเป็นป่าประเภทผลัดใบ แบบป่าเบญจพรรณ พบพืชให้อาศัยจำนวน 406 ต้น เอื้องเขาแกะจำนวน 5,300 ต้น มีการกระจายตัวแบบจับกลุ่ม (ภาพที่ 4) โดยเอื้องเขาแกะมีลักษณะพื้นฐานประการ คือ ขนาดความกว้างและความยาวของใบ ความยาวของช่อดอกและดอกย่อย จำนวนการติดฝักและขนาดความกว้างความยาวของฝักที่มีความแตกต่างกัน และลักษณะพื้นฐานของดอก (ตารางที่ 1) พบลักษณะใบเรียวยาวโค้งลงด้านล่าง ขอบใบโค้งเข้าหากันทางด้านบนเป็นรูปตัวอักษรวี (V) เรียงสลับกันซ้ายขวา จำนวน 8 - 27 ใบ ($n = 15$) โคนใบเป็นแผงชิดกันแน่น ความยาวใบเฉลี่ย 18.13 ± 5.60 เซนติเมตร ($n = 15$) ความกว้างใบเฉลี่ย 1.84 ± 0.13 เซนติเมตร ($n = 15$) ฤดูกาลออกดอกอยู่ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม พบเอื้องเขาแกะที่ออกดอกจำนวน 54 ต้น จำนวนทั้งหมด 5,300 ต้น (คิดเป็นเพียงร้อยละ 1 ของจำนวนต้นทั้งหมด) พบการสร้างช่อดอกในช่วงกลางเดือนมีนาคม (ภาพที่ 2ก) และดอกเริ่มบานในช่วงกลางเดือนเมษายนจนถึงปลายเดือนมิถุนายน โดยมีระยะเวลาการบานของดอกแรกจนถึงดอกสุดท้ายของช่อมีช่วงระยะเวลาประมาณ 14 - 22 วัน ($n = 54$) ลักษณะของดอกเป็นช่อตั้งตรง ดอกมีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ช่อดอกเป็นรูปทรงกระบอก มีดอกเบียดกันแน่น กลีบเลี้ยงบนรูปรีแกมรูปไข่กลับ กลีบเลี้ยงคู่ข้างรูปไข่กลับ กลีบดอกรูปขนานแกมรูปไข่ กลีบทั้ง 6 กลีบ กลีบเลี้ยง 3 กลีบ กลีบดอก 2 กลีบ และกลีบปาก 1 กลีบ มีสีขาว ขอบกลีบมีขลิบเป็นสีม่วงครามปลายกลีบมน กลีบปากรูปลิ้น มีเดือย ดอกแบนและปลายโค้งลง ลักษณะฝัก เมื่อฝักอ่อนมีสีเขียวเมื่อฝักมีการพัฒนาเมล็ดจะเริ่มเปลี่ยนสีฝักเป็นสีเหลือง และเมื่อฝักพัฒนาเมล็ดเจริญเติบโตเต็มที่หรือฝักแก่ จะมีสีฝักเป็นสีน้ำตาล อายุการถือฝัก 24 - 26 สัปดาห์ เมล็ดมีลักษณะเป็นผงละเอียดขนาดเล็กสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะทางสัณฐานของเมล็ดเอื้องเขาแกะ ($n = 100$) ภายใต้อกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเมล็ดมีลักษณะเป็นวงรีคล้ายรูปไข่ เปลือกของเมล็ดมีลายขีดเป็นเกลียว ภายในเมล็ดพบเอ็มบริโอ (embryo) เมล็ดมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 33.11 ± 2.90 ไมโครเมตร ความกว้างเฉลี่ยประมาณ 16.71 ± 1.78 ไมโครเมตร (ภาพที่ 2ข)

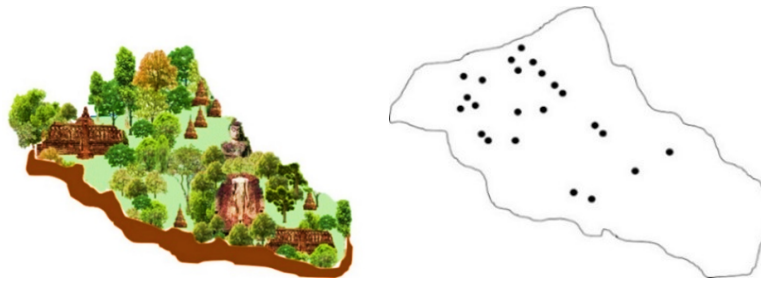


ภาพที่ 2: ลักษณะของต้นที่สร้างช่อดอกของเอื้องเขาแกะ (ก) และเมล็ดของเอื้องเขาแกะภายใต้อกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 4X (ข)

การกระจายตัวของเอื้องเขาแกะบนพืชให้อาศัยในบริเวณต่าง ๆ ของอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร (เขตอรัญญิก) พบว่ามีการกระจายตัวเป็นแบบจับกล่ม (ภาพที่ 4) โดยแสดงรายละเอียดในพื้นที่ย่อย ดังนี้



พื้นที่โดยรอบวัดข้างรอบ พบเอื้องเขาแกะจำนวน 332 ต้น และพืชให้อาศัยจำนวน 21 ต้น มีพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ต้นประดู่ มีพันธุ์ไม้รอง ได้แก่ ต้นสมอพิเภก (ภาพที่ 5)



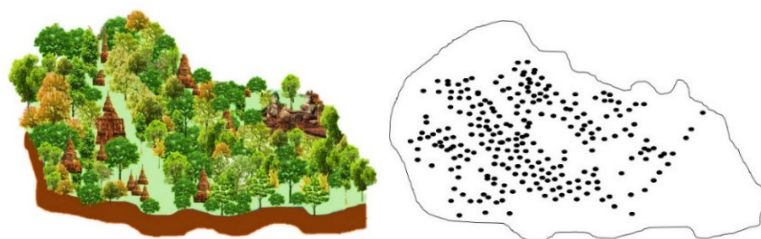
ภาพที่ 5: แสดงการกระจายตัวของเอื้องเขาแกะบริเวณพื้นที่โดยรอบวัดช้างรอบ

พื้นที่โดยรอบของวัดอวาสใหญ่ พบเอื้องเขาแกะจำนวน 8 ต้น และพืชให้อาศัยจำนวน 2 ต้น มีพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ต้นประดู่ มีพันธุ์ไม้รองได้แก่ ต้นสมอพิเภก (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6: แสดงการกระจายตัวของเอื้องเขาแกะบริเวณพื้นที่โดยรอบของวัดอวาสใหญ่ (B)

พื้นที่โดยรอบของวัดพระนอน พบเอื้องเขาแกะจำนวน 4,900 ต้น และพืชให้อาศัยจำนวน 370 ต้น มีพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ต้นสัก สมอพิเภก และประดู่ และมีพันธุ์ไม้รอง ได้แก่ ต้นตีนนก โมกมัน และมะค่าโมง เป็นต้น (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7: แสดงการกระจายตัวของเอื้องเขาแกะบริเวณพื้นที่โดยรอบของวัดพระนอน

พื้นที่โดยรอบของวัดฆ้องชัย พบเอื้องเขาแกะจำนวน 156 ต้น และพืชให้อาศัยจำนวน 17 ต้น มีพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ สมอพิเภก และ พันธุ์ไม้รอง ได้แก่ ประดู่ เป็นต้น (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8: แสดงการกระจายตัวของเอื้องเขาแกะบริเวณพื้นที่โดยรอบของวัดซ้องชัย

การสำรวจแมลงผสมเกสรตามธรรมชาติของเอื้องเขาแกะ ซึ่งทำการสำรวจตั้งแต่วันที่ 07.00 – 16.30 นาฬิกา เป็นเวลา 19 วัน (190 ชั่วโมง) จากการสำรวจแมลงผสมเกสรเอื้องเขาแกะ พบว่ามีแมลงที่เข้าเยี่ยมชมดอกของเอื้องเขาแกะ 2 ชนิด ได้แก่ แมลงวัน (*Musca* sp.) เกาะที่บริเวณดอกตูม เป็นเวลาประมาณ 6.22 นาที ก่อนที่บินออกจากดอกตูมนั้น และชันโรง (*Trigona* sp.) เดินไปมาเข้าออกบริเวณดอกเอื้องเขาแกะที่บ้านแล้ว เป็นเวลาประมาณ 4.47 นาที แต่ไม่พบเกสรของเอื้องเขาแกะติดบริเวณหัวหรือตัวของชันโรง

การศึกษาพบว่าเอื้องเขาแกะมีการกระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณพื้นที่แบบป่าเบญจพรรณภายในของอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร โดยป่าเบญจพรรณนั้น มีพรรณไม้เด่นทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ไม้สัก ไม้มะค่า ไม้แดง ไม้ประดู่ และไม้ชิงชันอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ [11] จากการสำรวจพบพรรณไม้เด่นคือ ต้นสัก มะค่า ประดู่ และชิงชัน ซึ่งเป็นพรรณไม้คล้ายคลึงกับพื้นที่ป่าของศูนย์วนวัฒนวิจัยจังหวัดกำแพงเพชร โดยมีรายงานสภาพพื้นที่ป่าเป็นสังคมป่าเต็งรังถึงป่าเบญจพรรณ เพราะเนื่องจากการพบต้นสัก มะค่าโมง ประดู่ เป็นต้น อาศัยอยู่ในพื้นที่ป่าเต็งรังนั้นด้วย [12] ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการกระจายพันธุ์ของเอื้องเขาแกะ เนื่องจากเอื้องเขาแกะมักอิงอาศัยอยู่กับต้นสักเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้เด่นของป่าเบญจพรรณ ที่มีลำต้นสูงโปร่ง เรือนยอดไม่หนาแน่นจนเกินไป ทำให้ลมพัดผ่านได้ดี โดยปัจจัยเหล่านี้ อาจเป็นปัจจัยเหมาะสมให้อิงอาศัยได้เป็นอย่างดี อีกทั้งเปลือกของต้นไม้ในพื้นที่ยังเหมาะสมให้กล้วยไม้อิงอาศัยเจริญเติบโตได้ในสภาพป่านั้น ๆ อีกด้วย [13] จากการศึกษาพืชให้อาศัยของกล้วยไม้อิงอาศัยในป่าดิบเขาบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี โดยต้นไม้นี้แต่ละชนิดมีผลต่อการเจริญเติบโต การดำรงชีพของกล้วยไม้ที่จะขึ้นอิงอาศัยอยู่ด้วย ถึงแม้ว่ามีพรรณไม้บางชนิดที่มีความเด่นในพื้นที่มาก แต่กลับพบว่ากล้วยไม้ขึ้นอิงอาศัยอยู่ในปริมาณน้อย ในขณะที่พรรณไม้บางชนิดที่มีความเด่นในพื้นที่น้อย กลับพบกล้วยไม้ขึ้นอิงอาศัยเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจจะมีปัจจัยบางอย่างเป็นตัวกำหนด หรือมีผลต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีพของกล้วยไม้ ที่เหมาะสมกว่าพรรณไม้อื่น ๆ [14] ในส่วนของการศึกษาช่วงเวลาการออกดอกของเอื้องเขาแกะ พบว่าฤดูกาลออกดอก พบเอื้องเขาแกะที่ออกดอกเพียง 1 เปอร์เซ็นต์ มีการออกดอกเพียงบางต้นและพบต้นที่ติดฝักในอัตราต่ำในช่วงแรกของการศึกษาและไม่พบต้นที่ติดฝักในช่วงที่สองของการศึกษา อาจเป็นผลเนื่องมาจากกล้วยไม้ชนิดนี้มีความเฉพาะเจาะจงต่อรูปแบบการผสมเกสรเพื่อการขยายพันธุ์ ซึ่งต้องอาศัยพาหะเพื่อช่วยผสมเกสรที่เหมาะสม เนื่องจากกล้วยไม้บางชนิดมีความจำเพาะต่อแมลงที่ช่วยผสมเกสรจะต้องมีความเหมาะสมสำหรับกล้วยไม้ชนิดนั้น ๆ หรือจะต้องใช้กระบวนการผสมข้ามต้น ดังนั้นการ

เปลี่ยนสภาพแวดล้อมใด ๆ ก็อาจส่งผลอย่างรุนแรงต่อความสามารถในการดำรงอยู่ของกล้วยไม้ชนิดนั้น ๆ [15] สำหรับการสำรวจแมลงผสมเกสรของเอื้องเขาแกะ ไม่พบแมลงผสมเกสร พบเพียงแมลงวัน และชันโรง ที่เป็นแมลงเยี่ยมชม (visitor) เท่านั้น อาจไม่ใช่แมลงผสมเกสรให้กับเอื้องเขาแกะ เนื่องจากมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาจึงไม่สามารถช่วยผสมเกสรให้กับเอื้องเขาแกะได้ อีกทั้งยังมีรายงานการศึกษาแมลงที่ช่วยผสมเกสรให้กับเอื้องไอยเรศ (*Rhynchostylis retusa* (L.) BL.) พบว่า แมลงที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา เช่น มด ตัวงู ผีเสื้อ ไม่สามารถที่จะนำเกสรจากดอกหนึ่งไปยังอีกดอกหนึ่งได้ เอื้องไอยเรศจึงต้องอาศัยแมลงที่มีขนาดใหญ่คือ *Xylocopa violacea* (Linnaeus, 1758) และ *Xylocopa aestuans* (Linnaeus, 1758) จึงจะทำให้การผสมเกสรของเอื้องไอยเรศประสบความสำเร็จได้ [16]

สำหรับการศึกษาวิจัยในครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาแมลงผสมเกสร (pollinator) เพื่อให้ทราบถึงแมลงที่ช่วยส่งเสริมให้มีการติดฝักเพื่อเพิ่มประชากรของเอื้องเขาแกะในสภาพธรรมชาติ หรือศึกษาแนวทางในการเพิ่มจำนวนเอื้องเขาแกะด้วยวิธีการขยายพันธุ์เทียมหรือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เพื่อช่วยเพิ่มจำนวนประชากรของเอื้องเขาแกะให้คงอยู่ในพื้นที่ต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาชีววิทยาบางประการของกล้วยไม้เอื้องเขาแกะในพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร ทำให้ทราบถึงข้อมูลของลักษณะทางสัณฐานต่าง ๆ ของเอื้องเขาแกะ ประชากรกล้วยไม้เอื้องเขาแกะมีจำนวนมากโดยมีกระจายตัวเป็นกลุ่มในพื้นที่ศึกษา มักอิงอาศัยกับพืชให้อาศัยที่มีเปลือกไม้เรียบโดยเฉพาะต้นสักเป็นส่วนใหญ่ มีการสร้างช่อดอกและอัตราการติดฝักที่ต่ำมาก ไม่พบแมลงผสมเกสร อีกทั้งยังพบต้นอ่อนของกล้วยไม้เอื้องเขาแกะในพื้นที่น้อยมาก อาจต้องดำเนินการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อชีววิทยาการสืบพันธุ์เพิ่มเติมหรือศึกษาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการขยายพันธุ์กล้วยไม้เอื้องเขาแกะเพื่อนำปลูกคืนสู่พื้นที่เดิม (reintroduction) สำหรับแผนการอนุรักษ์ ในกรณีที่มีการลดลงของจำนวนประชากรเอื้องเขาแกะในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณหัวหน้าอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร (นางธาดา สังข์ทอง) ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ในการศึกษา และอาจารย์ ดร.พิมพ์ประไพ ขาวขำ สำหรับข้อเสนอแนะสำหรับขั้นตอนการเก็บข้อมูลและสร้างแผนที่ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมศิลปากร (2563). อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร. ออนไลน์ เข้าถึงโดย <https://shorturl.asia/UncHV>
- [2] กมลทิพย์ ประเทศ, วัลลภา เหลืองภักดี, พรทิพย์ภา สุกอง, อรษา อภิรมย์วิไลชัย และ อรุณพร จงอ่อนกลาง. (2543). การสำรวจพรรณไม้ในอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร. การศึกษาด้วยตนเอง กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา) มหาวิทยาลัยนเรศวร. 441 หน้า.

- [3] ธนากร วงษ์ศา, ภูริต นิธิภัทรโกศล และ อนุพันธ์ กงบังเกิด. (2560). การศึกษาเบื้องต้นของชีววิทยาการสืบพันธุ์ของเอื้องหอมเตย (*Habenaria lucida* Wall. ex Lindl.) ใน รายงานสืบเนื่องการประชุมพฤกษศาสตร์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 11, (น. 202-208). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [4] นพชัย คำเหมย. (2562). การศึกษานิเวศวิทยาบางประการของกล้วยไม้เอื้องเขาแกะในอุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร. ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาตรี (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. 65 หน้า.
- [5] อนุพันธ์ กงบังเกิด, วัชรศักดิ์ มาเกิด, อุบลวรรณ บุญฉ่ำ, เชิดศักดิ์ ทัพโพ, ธนากร วงษ์ศา, อติศักดิ์ ทิพย์โชติ, อธิภัทร เหลืองศุภบุลย์ และ กำธร ทวีทรัพย์ (2556). การสำรวจและอนุกรมวิธานของกล้วยไม้ บริเวณอุทยานแห่งชาติแม่วงก์ จังหวัดกำแพงเพชร. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.
- [6] หน่วยข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2558). สมุนไพรในอุทยานแห่งชาติแม่วงก์. พิษณุโลก: โรงพิมพ์สุรสีห์ กราฟฟิค, 81 หน้า.
- [7] อนุพันธ์ กงบังเกิด, กนกอร ศรีม่วง และ สันติ วัฒนานะ. (2554). ชีววิทยาและการขยายพันธุ์กล้วยไม้ *Epipactis flava* Seidenf. ในหลอดทดลองเพื่อการอนุรักษ์และผลิตต้นพันธุ์. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [8] อนุพันธ์ กงบังเกิด, กนกอร ศรีม่วง และ สันติ วัฒนานะ. (2554). ชีววิทยาและการขยายพันธุ์กล้วยไม้สังโตธานี นีวัตเพื่อการอนุรักษ์. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [9] พิรดา แก้วทองประคำ, ทิพย์สุตา ตั้งตระกูล, ปฎิภาณ สุทธิกุลบุตร และ อติศักดิ์ การพึ่งตน. (2562). ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ดินนกกุ่มไฟ หมู่บ้านปงไคร้ ตำบลโป่งแยง อำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 1(11), 181-196.
- [10] นิรนาม (ม.ป.ป.) เข้าถึงจาก: <https://www.suikofriend.com/blog2/kamphaeng/kamphaeng-map.jpg>.
- [11] เต็ม สมิตินันท์. (2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย. สำนักงานหอพรรณไม้. (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2557). กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช. 806 หน้า.
- [12] กิตติชัย นุชชม. (2547). พรรณไม้ในป่าเต็งรัง. ศูนย์วนวัฒนวิจัยกำแพงเพชร. สำนักบริหารจัดการในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ 6 (นครสวรรค์). กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช. 77 หน้า.
- [13] เทียมหทัย ชูพันธ์, จิรประภา ทองสุขแก้ง และ ธนา ดานะ. (2558). ความหลากหลายของชนิดและนิเวศวิทยาของกล้วยไม้ในอุทยานแห่งชาติภูแล่นคำ จังหวัดชัยภูมิ. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 37(5), 613-618.
- [14] ปัญญา สุขสมกิจ และ ดวงใจ สุขเฉลิม. (2551). Hosts ของกล้วยไม้อิงอาศัยในป่าดิบเขาบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. วารสารวิจัยพืชเขตร้อน, 1, 83-92.

- [15] รัฐวิทย์ สราวุธวินัย, พัฒน ทวีโกศ, ครรชิต ธรรมศิริ และ สันติ วัฒนานะ (2556). รูปแบบการสืบพันธุ์ของกล้วยไม้เฉพาะถิ่นของภาคใต้ของไทย *Corybas ecarinatus* Anker & Seidenfaden. ใน การประชุมมหาดใหญ่วิชาการ ครั้งที่ 4 (น. 25-31) วันที่ 10 พฤษภาคม 2556, สงขลา: มหาวิทยาลัยหาดใหญ่.
- [16] Buragohain, B., Chaturvedi, S.K. & Puro, N. (2015). Biotic pollination in *Rhynchostylis retusa* (L.) Bl. (Orchidaceae). The International Journal of Plant Reproductive Biology, 7(1),78-83.

การประเมินความเป็นพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อปลานิลและกุ้งฝอยน้ำจืด Evaluation of Acute Toxicity of Cabaryl to Nile Tilapia and Freshwater Prawn Potential

กิตติชัย จันธิมา^{1,*}, วิชุดา จินดาธรรม², หอมนวล หย่าคำ³, บุษบาวรรณ ไชยเรือนสูง⁴

¹โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย

²สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย เชียงราย

³องค์การบริหารส่วนตำบลแม่สลองใน เชียงราย

⁴บริษัท วี เม็ด แลป เซ็นเตอร์ จำกัด พิษณุโลก

Kittichai Chantima^{1,*}, Wichuda Jindatham², Homnawl Yarkam³, Butsabawan Chairueansoong⁴

¹Environmental Science and Technology Program, Faculty of Science and Technology,

Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai

²Provincial Office of Natural Resources and Environment Chiang Rai, Chiang Rai

³Mae Salong Nai Subdistrict Administrative Organization, Chiang Rai

⁴WE Med Lab Center Co., Ltd., Phitsanulok

บทคัดย่อ

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชในการเกษตรโดยเฉพาะนาข้าวส่งผลให้ระบบนิเวศน้ำจืดเสื่อมโทรม และคุกคามการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในน้ำหลายชนิด การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นพิษเฉียบพลันของสารกำจัดศัตรูพืชคาร์บาริลต่อสัตว์น้ำ 2 ชนิด คือ ตัวอ่อนปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และกุ้งฝอยน้ำจืด (*Macrobrachium lanchesteri*) โดยใช้วิธีชีววิเคราะห์แบบน้ำนิ่ง (static bioassay) เพื่อหาค่าความเป็นพิษเฉียบพลันที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ภายในเวลา 96 ชั่วโมง (96hr-LC₅₀) ด้วยการวิเคราะห์โปรบิท (probit analysis) ผลการศึกษาพบว่าค่า 96hr-LC₅₀ ของตัวอ่อนปลานิลและกุ้งฝอยน้ำจืดมีค่าเท่ากับ 7.92 และ 0.08 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ผลการศึกษา

* Corresponding author : kittichai.cha@crpu.ac.th

Received : 02/08/2022

Revised : 14/11/2022

Accepted : 23/11/2022

แสดงให้เห็นถึงความเป็นพิษสูงของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลานิลและกุ้งฝอยน้ำจืด

คำสำคัญ : พิษเฉียบพลัน, คาร์บาริล, ปลานิล, กุ้งฝอยน้ำจืด

Abstract

Pesticide applications in agriculture especially rice paddies undoubtedly result in a degraded freshwater ecosystem and threatened survival of several aquatic organisms. This study was conducted to determine the acute toxicity of Cabaryl, a carbamate pesticide, on Nile tilapia juvenile (*Oreochromis niloticus*) and freshwater prawn (*Macrobrachium lanchesteri*) by static bioassay. Probit analysis was performed for evaluating the median lethal concentration within 96 hours (96hr-LC₅₀). The results showed that 96hr-LC₅₀ of Cabaryl was 7.92 and 0.08 ppm on *O. niloticus* and *M. lanchesteri*, respectively. This study indicated that high toxicity of Cabaryl on *O. niloticus* juvenile and *M. lanchesteri*.

Keywords : acute toxicity, cabaryl, nile tilapia, freshwater prawn

ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรอย่างกว้างขวาง เนื่องด้วยประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม เกษตรกรจึงพึ่งพาการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชเพื่อป้องกันโรคพืชและเพื่อเพิ่มผลผลิต ส่งผลให้มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่มากจนเกินความต้องการ และบ่อยครั้งก่อให้เกิดการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำ และอากาศ โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำซึ่งได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่งผลให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโตช้า เสียการทรงตัว และอาจตายได้ในที่สุด อีกทั้งยังส่งผลให้เกษตรกรสูญเสียรายได้ นอกจากนี้ยังทำให้สมดุลธรรมชาติต้องเปลี่ยนแปลงไปในทางลบจนเกิดผลเสียหลายส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม

สารเคมีกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphate) และกลุ่มคาร์บาเมต (Carbamate) เป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสารสองกลุ่มนี้สลายตัวได้ง่ายในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะสารเคมีกลุ่มคาร์บาเมตซึ่งจะสลายตัวได้เร็ว คาร์บาริล (Carbaryl; $C_{12}H_{11}NO_2$) เป็นสารเคมีกำจัดแมลงชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มคาร์บาเมต คาร์บาริลเป็นสารเคมีชนิดแรกในกลุ่มคาร์บาเมตที่ถูกนำมาใช้และยังมีการใช้กันมากในปัจจุบันในการป้องกันและกำจัดแมลงในภาคการเกษตร [1-2] อย่างไรก็ตามคาร์บาริลมีโอกาที่จะแพร่กระจายและสะสมอยู่ในแหล่งน้ำจำนวนมากแม้ว่าสารนี้จะสลายตัวได้เร็วตามธรรมชาติก็ตาม เนื่องจากการใช้ในปริมาณที่มากและต่อเนื่องส่งผลให้คาร์บาริลสามารถสะสมในแหล่งน้ำและก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์น้ำได้

ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาที่สามารถอาศัยอยู่ได้ในแหล่งน้ำจืดและน้ำกร่อย เป็นปลาที่นิยมนำมาเลี้ยงเนื่องจากเลี้ยงง่าย โตเร็ว และเป็นที่ยอดนิยมของผู้บริโภค ปลานิลที่มนุษย์นำมาบริโภคส่วนใหญ่มาจากการเพาะเลี้ยงมากกว่าแหล่งธรรมชาติ ทั้งนี้ปลานิลในแหล่งน้ำตามธรรมชาติลดน้อยลงเนื่องจากการตกค้างของสารเคมี

ทางการเกษตรในแหล่งน้ำซึ่งส่งผลกระทบต่อปลาได้ ทั้งนี้มีรายงานการทดสอบผลของคาร์บาริลความเข้มข้น 850 ไมโครกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางจุลพยาธิวิทยาและทางเซลล์วิทยาในเหงือกของปลาไน [3] เช่นเดียวกับกุ้งฝอยน้ำจืด (*Macrobrachium lanchesteri*) ที่พบได้ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยและเป็นที่นิยมบริโภคกันทั่วไป กุ้งฝอยมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งโปรตีนและแคลเซียม ปัจจุบันกุ้งฝอยเริ่มลดน้อยลงเนื่องจากการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำธรรมชาติ อีกทั้งได้รับผลกระทบจากสารเคมีตกค้างในแหล่งน้ำโดยเฉพาะคาร์บาริลถึงแม้ว่าจะเป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่สลายตัวได้เร็วในสิ่งแวดล้อมแต่สามารถมีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำดังกล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีรายงานผลความเป็นพิษของคาร์บาริลต่อกุ้งฝอยน้ำจืด (*M. malcolmsonii*) พบว่าทำให้การทำงานของกระบวนการเมตาบอลิซึมพื้นฐานลดลง และส่งผลให้การเจริญเติบโตของกุ้งฝอยลดลงไปด้วย [4-5] นอกจากนี้ผู้เลี้ยงปลาเศรษฐกิจยังใช้กุ้งฝอยเป็นอาหารเลี้ยงอนุบาลลูกปลาเศรษฐกิจ เช่น ปลาบู่ ปลาช่อน ปลากray ปลาสร้อยขาว เป็นต้น ทำให้มีปริมาณไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดที่มีแนวโน้มสูงมากขึ้นในปัจจุบัน

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความเป็นพิษของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลาไนและกุ้งฝอยน้ำจืดเพื่อประเมินความเป็นพิษเฉียบพลันเบื้องต้นภายใต้สภาวะทดลอง ผลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับแนวทางในการจัดการและการใช้สารเคมีในการเกษตรที่ถูกต้อง เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการศึกษาคือความเป็นพิษของคาร์บาริลจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะนำมาเป็นแนวทางในการควบคุมและป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งยังใช้เป็นแนวทางในการรักษาคุณภาพแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

สัตว์ทดลอง สัตว์ทดลองและการเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการได้รับการจัดการตามแนวทางที่ได้รับการตรวจสอบโดยคณะกรรมการจากสถาบันพัฒนาการการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (U1-03137-2559) สัตว์ทดลองที่ใช้ มีดังนี้

ตัวอ่อนปลาไน (*Oreochromis niloticus*) อายุ 30 วัน ทำการเลี้ยงในตู้ทดลอง (ขนาด 8×16×10 นิ้ว) เพื่อให้สัตว์ทดลองปรับสภาพให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมของตู้ทดลองเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำไปทำการทดลอง ให้อาหารแก่สัตว์ทดลองวันละ 2 ครั้ง ครั้งละประมาณร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักตัว

กุ้งฝอยน้ำจืด (*Macrobrachium lanchesteri*) เลี้ยงกุ้งฝอยน้ำจืดในตู้ทดลอง (ขนาด 6×12×7 นิ้ว) เพื่อปรับสภาพในตู้เป็นเวลา 7 วัน ก่อนทำการทดลอง กุ้งฝอยน้ำจืดที่ใช้มีขนาดเฉลี่ย 3.5 เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ย 480 มิลลิกรัม ให้อาหารแก่สัตว์ทดลองวันละ 2 ครั้ง ครั้งละประมาณร้อยละ 5-10 ของน้ำหนักตัว

สารเคมี เตรียมสารละลายของคาร์บาริล (Sevin 85, USA) ในรูปของสารละลายเข้มข้นในหน่วยพีพีเอ็ม (ppm) ให้มีความเข้มข้นตามที่ต้องการ (ตารางที่ 1) สารละลายที่ใช้ต้องเตรียมใหม่ทุกครั้งและนำไปใช้ทันที

การทดลอง การทดลองมีขั้นตอน ดังนี้

การทดลองขั้นต้น (pre-test) เป็นการทดลองขั้นต้นเพื่อหาระดับความเข้มข้นของคาร์บาริลในช่วงกว้างที่ทำให้สัตว์ทดลองตายและไม่ตายทั้งหมด (ร้อยละ 0-100) โดยนำสารละลายคาร์บาริลที่มีความเข้มข้นระดับต่าง ๆ เติม

ลงไปในตัวเลี้ยงสัตว์ทดลอง คนให้ตัวพร้อมให้ออกซิเจนตลอดเวลา จากนั้นจึงนำสัตว์ทดลองเข้าระบบตู้ทดลองจำนวน 10 ตัว ลงไปในตัวเลี้ยง โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 24 ชั่วโมง และบันทึกผลการทดลอง

การทดลองอย่างละเอียด (full scale test) เพื่อหาระดับความเป็นพิษของคาร์บาริลโดยใช้วิธีชีววิเคราะหแบบน้ำนิ่ง (static bioassay) เป็นการนำข้อมูลความเข้มข้นของคาร์บาริลที่ทำให้สัตว์ทดลองตายระหว่างร้อยละ 0 - 100 จากการทดลองขั้นต้นมาแบ่งออกเป็น 5 ระดับความเข้มข้น และ 1 กลุ่มควบคุม แต่ละกลุ่มใช้สัตว์ทดลอง 30 ตัว โดยมีรูปแบบการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: รูปแบบการทดลองความเป็นพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลานิลและกุ้งฝอยน้ำจืด

กลุ่มทดลอง	ความเข้มข้นของคาร์บาริล (พีพีเอ็ม)	
	ตัวอ่อนปลานิล	กุ้งฝอยน้ำจืด
กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม)	0	0
กลุ่มที่ 2	5	0.04
กลุ่มที่ 3	7	0.10
กลุ่มที่ 4	9	0.16
กลุ่มที่ 5	11	0.22
กลุ่มที่ 6	13	0.28

ก่อนและหลังทำการทดลองทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ คือ อุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเค็ม และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของระบบตู้ทดลอง ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ multiparameter ยี่ห้อ EUTECH รุ่น PCD 650 หลังจากเติมคาร์บาริลลงไปแล้วนับจำนวนการตายของสัตว์ทดลอง บันทึกค่าร้อยละการตาย และสังเกตพฤติกรรมและปฏิกิริยาของสัตว์ทดลองเมื่อสัมผัสกับสารเคมีและบันทึกผลการทดลองทุก ๆ 24 ชั่วโมง จนครบ 96 ชั่วโมง ในระหว่างการทดลองสัตว์ทดลองที่ตายจะนำออกจากตู้ทดลองทันที

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ค่าความเป็นพิษเฉียบพลันที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 ภายในเวลา 96 ชั่วโมง (96hr-LC₅₀) โดยการนำข้อมูลร้อยละการตายของสัตว์ทดลองและความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตายมาคำนวณหาค่า 96hr-LC₅₀ ด้วยวิธีคำนวณแบบโพรบิต (probit) โดยใช้โปรแกรม StatPlus V.5 และโปรแกรม Microsoft Excel

ผลการศึกษา

การศึกษาพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลานิลและกุ้งฝอยน้ำจืดตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 96 ชั่วโมง พบอัตราการตายของตัวอ่อนปลานิลและกุ้งฝอยแตกต่างกันไปตามระยะเวลาและความเข้มข้นของสารเคมี (ตารางที่ 2) โดยคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองพบว่า อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของห้องทดลองซึ่งอยู่ในช่วง 23.6-26.6 องศาเซลเซียส มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 84.10-177.10 ไมโครซีเมนตต่อเซนติเมตร ค่าของแข็ง

ละลายน้ำทั้งหมดอยู่ในช่วง 79.39-167.20 มิลลิกรัมต่อลิตร (มก./ล.) ค่าความเค็มอยู่ในช่วง 78.55-171.70 พีพีเอ็ม ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 6.91-8.31 และค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 5.85-7.09 มก./ล. จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ พบว่าอุณหภูมิของน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าออกซิเจนละลายน้ำขณะทำการทดลองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของกรมประมง คือ อุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 23.0-32.0 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.5-9.0 และค่าออกซิเจนละลายน้ำไม่น้อยกว่า 3.0 มก./ล. [6]

ผลการทดลองอัตราการตายของตัวอ่อนปลาไนที่ระดับความเข้มข้น 0 พีพีเอ็ม (กลุ่มควบคุม) ไม่พบการตายของตัวอ่อนปลาไนตลอดระยะเวลา 96 ชั่วโมง แต่ที่ระดับความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม พบว่าเริ่มมีการตายของตัวอ่อนปลาไนที่ 48 ชั่วโมง และเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อครบ 96 ชั่วโมง มีอัตราการตายสะสมร้อยละ 10.0 สำหรับที่ระดับความเข้มข้น 7 พีพีเอ็ม เริ่มมีการตายที่ 24 ชั่วโมง โดยมีอัตราการตายร้อยละ 3.3 เมื่อครบ 96 ชั่วโมง มีการอัตราการตายสะสมเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.3 และที่ระดับความเข้มข้น 9, 11 และ 13 พีพีเอ็ม พบว่าเริ่มมีอัตราการตายสะสมที่ 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกัน เมื่อครบ 96 ชั่วโมง พบว่ามีอัตราการตายสะสมร้อยละ 53.3, 80.0 และ 100 ตามลำดับ

ผลการทดลองอัตราการตายของกุ้งฝอยน้ำจืดที่เวลา 24 ชั่วโมง กุ้งฝอยน้ำจืดที่สัมผัสกับคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่ำไม่มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อสารเคมี ยังคงว่ายน้ำเป็นปกติและมีอัตราการตายค่อนข้างต่ำ แต่กุ้งฝอยน้ำจืดที่สัมผัสกับคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นสูงแสดงปฏิกิริยาตอบสนองออกมาอย่างชัดเจน คือ มีการว่ายน้ำเร็วขึ้นและพยายามดิ้นตัวขึ้นมาเหนือน้ำจนหยุดการตอบสนองและจมลงสู่พื้นน้ำ กุ้งฝอยน้ำจืดที่ตายจะมีลำตัวอืดและสีขาวขุ่น และที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด (0.28 พีพีเอ็ม) พบการตายของกุ้งฝอยน้ำจืดเกือบทั้งหมด มีการตายร้อยละ 83.3 ที่เวลา 48 ชั่วโมง กลุ่มควบคุมเริ่มพบการตายของกุ้งฝอยน้ำจืด และที่ระดับความเข้มข้น 0.04 พีพีเอ็ม มีอัตราการตายใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม แต่ที่ระดับความเข้มข้น 0.10, 0.16 และ 0.22 พีพีเอ็ม เริ่มพบการตายของกุ้งฝอยน้ำจืดที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด กุ้งฝอยน้ำจืดมีการตายร้อยละ 100 ที่ระดับความเข้มข้น 0.28 พีพีเอ็ม สำหรับปฏิกิริยาตอบสนองของกุ้งฝอยน้ำจืดต่อคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่ำยังมีปฏิกิริยาใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม แต่ที่ระดับความเข้มข้น 0.22 พีพีเอ็ม กุ้งฝอยน้ำจืดเริ่มมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อคาร์บาริลเพิ่มมากขึ้นที่เวลา 72 ชั่วโมง กลุ่มควบคุมยังคงมีอัตราการตายเท่าเดิม และที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ อัตราการตายของกุ้งฝอยน้ำจืดเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่อนข้างแตกต่างจากเวลา 48 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้น 0.16 และ 0.22 พีพีเอ็ม พบอัตราการตายมากกว่าร้อยละ 50.0 ทั้งนี้เนื่องจากการสะสมของสารเคมี แต่ปฏิกิริยาตอบสนองของกุ้งฝอยน้ำจืดไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมมากนัก ซึ่งส่วนใหญ่กุ้งฝอยน้ำจืดจะรวมตัวกันเป็นกลุ่มอยู่ที่พื้นน้ำ และที่เวลา 96 ชั่วโมง ทุกระดับความเข้มข้นพบอัตราการตายของกุ้งฝอยน้ำจืดอย่างเห็นได้ชัด กลุ่มควบคุมมีการตายเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.7 ที่ระดับความเข้มข้น 0.04, 0.10 และ 0.16 พีพีเอ็ม มีการตายเพิ่มขึ้นมากกว่าในช่วง 72 ชั่วโมง และที่ระดับความเข้มข้น 0.22 พีพีเอ็ม พบการตายของกุ้งฝอยน้ำจืดร้อยละ 100 ปฏิกิริยาตอบสนองของกุ้งฝอยน้ำจืดส่วนใหญ่เริ่มมีการตอบสนองต่อการสัมผัสคาร์บาริลลดลง

ตารางที่ 2: การตายสะสมของตัวอ่อนปลานิลและกุ้งฝอยน้ำจืดจากการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของคาร์บาริล ในระยะเวลา 96 ชั่วโมง

สัตว์ทดลอง	การตายสะสม (ร้อยละ)											
	ตัวอ่อนปลานิล						กุ้งฝอยน้ำจืด					
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	0	5	7	9	11	13	0	0.04	0.10	0.16	0.22	0.28
24 ชั่วโมง	0	0	3.3	6.7	6.7	20.0	0	3.3	13.3	23.3	43.3	83.3
48 ชั่วโมง	0	3.3	6.7	16.7	23.3	43.3	3.3	6.7	23.3	43.3	66.7	100
72 ชั่วโมง	0	6.7	13.3	30.0	50.0	76.7	3.3	13.3	36.7	56.7	93.3	-
96 ชั่วโมง	0	10.0	23.3	53.3	80.0	100	6.7	23.3	50.0	73.3	100	-

ค่าความเข้มข้นของคาร์บาริลที่ทำให้ตัวอ่อนปลานิลและกุ้งฝอยน้ำจืดตายโดยมีอัตราการตายสะสมร้อยละ 50 ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง สามารถแปลงค่าอัตราการตายสะสมเป็นค่าโปรบิต และค่าความเข้มข้นเป็น log ดังตารางที่ 3 และสร้างสมการเส้นตรงและคำนวณค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ ดังตารางที่ 4 และแทนค่าอัตราการตายสะสมที่ร้อยละ 50 ซึ่งจะอยู่ในรูป log เมื่อหาค่า log แล้วจะได้ค่าความเข้มข้นที่ทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 (LC_{50})

ตารางที่ 3: การแปลงค่าการตายสะสมเป็นค่าโปรบิตและความเข้มข้นเป็น log เพื่อคำนวณค่า LC_{50}

ตัวอ่อนปลานิล									
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	log_ppm	24 ชั่วโมง		48 ชั่วโมง		72 ชั่วโมง		96 ชั่วโมง	
		ร้อยละ	probit	ร้อยละ	probit	ร้อยละ	probit	ร้อยละ	probit
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0.6990	0	2.6056	3.3	3.1657	6.7	3.4986	10.0	3.7183
7	0.8451	3.3	3.1657	6.7	3.4986	13.3	3.8892	23.3	4.2723
9	0.9542	6.7	3.4986	16.7	4.0326	30.0	4.4760	53.3	5.0834
11	1.0414	6.7	3.4986	23.3	4.2723	50.0	5.0000	80.0	5.8415
13	1.1139	20	4.1585	43.3	4.8324	76.7	5.7277	100	7.3944

ตารางที่ 3: การแปลงค่าการตายสะสมเป็นค่าโพรบิตและความเข้มข้นเป็น log เพื่อคำนวณค่า LC₅₀ (ต่อ)

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	log_ppm	กุ้งฝอยน้ำจืด							
		24 ชั่วโมง		48 ชั่วโมง		72 ชั่วโมง		96 ชั่วโมง	
		ร้อยละ	probit	ร้อยละ	probit	ร้อยละ	probit	ร้อยละ	probit
0		0		3.3	2.6732	3.3	2.6732	6.7	3.4986
0.04	-1.3979	3.3	3.1657	6.7	3.4986	13.3	3.8892	23.3	4.223
0.10	-1.0000	13.3	3.8892	23.3	4.2723	36.7	4.6597	50.0	5.0000
0.16	-0.7959	23.3	4.2723	43.3	4.8324	56.7	5.1676	73.3	5.6226
0.22	-0.6576	43.3	4.8324	66.7	5.4303	93.3	6.5014	100	7.3944
0.28	-0.5528	83.3	5.9674	100	7.3944	100	7.3944	100	7.3944

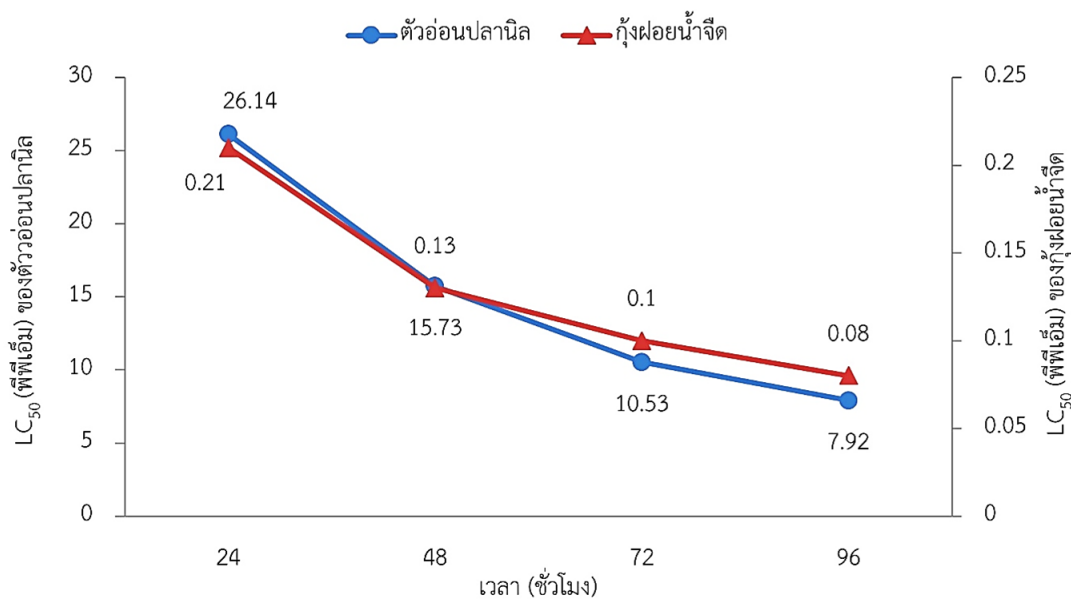
ตารางที่ 4: สมการเชิงเส้นที่เวลาต่าง ๆ และค่า LC₅₀ ของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลาไนและกุ้งฝอยน้ำจืดตลอดระยะเวลา 96 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอ่อนปลาไน			กุ้งฝอยน้ำจืด		
	สมการเชิงเส้น	R ²	LC ₅₀ (ppm)	สมการเชิงเส้น	R ²	LC ₅₀ (ppm)
24	$y = 3.3179x + 0.2973$	0.9240	26.14	$y = 2.911x + 6.9895$	0.8514	0.21
48	$y = 3.9076x + 0.3235$	0.9603	15.73	$y = 3.8778x + 8.5013$	0.7718	0.13
72	$y = 5.2515x - 0.3695$	0.9458	10.53	$y = 3.9214x + 8.9766$	0.8577	0.10
96	$y = 8.315x - 2.4771$	0.8972	7.92	$y = 3.9771x + 9.4301$	0.8647	0.08

จากผลการศึกษาพบว่า ค่า LC₅₀ ของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลาไนที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 26.14, 15.73, 10.53 และ 7.92 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และค่า LC₅₀ ของคาร์บาริลต่อตัวกุ้งฝอยน้ำจืดที่ระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.21, 0.13, 0.10 และ 0.08 พีพีเอ็ม ตามลำดับ (ภาพที่ 1)

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

การศึกษาพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลาไนที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ พบว่าความเป็นพิษเฉียบพลันของสารคาร์บาริลต่อการตายของตัวอ่อนปลาไนตายร้อยละ 50 (LC₅₀) ที่ระยะเวลา 24, 28, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 26.14, 15.73, 10.53 และ 7.92 พีพีเอ็ม ตามลำดับ จากรายงานของ Liwag et al. [7] พบว่าคาร์บาริลมีความเป็นพิษเฉียบพลันในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ต่อปลาไนในช่วงก่อนและหลังวางไข่สูงมาก (24hr-LC₅₀ = 6.07 พีพีเอ็ม) ซึ่งคาร์บาริลนั้นมียาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางจุลพยาธิวิทยาและทางเซลล์วิทยาในเหงือกของปลาไนได้ [3] ทั้งนี้มีรายงานค่าความเป็นพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อปลาแซลมอนแอตแลนติกและ



ภาพที่ 1: ค่า LC₅₀ ของคาร์บาริลต่อตัวอ่อนปลานิลและกิ้งฟอยน้ำจืดตลอดระยะเวลา 96 ชั่วโมง

ปลากดอเมริกัน มีค่า 96hr-LC₅₀ เท่ากับ 0.25 และ 20 พีพีเอ็ม ตามลำดับ [8-9] แสดงให้เห็นว่าคาร์บาริลมีความเป็นพิษต่อปลาในระดับที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปลา คาร์บาริลยังคงมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำต่ำเมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่น จากรายงานของ Ayoola [10] พบว่าไกลโฟเสท (96hr-LC₅₀ = 1.05 พีพีเอ็ม) มีความเป็นพิษสูงกว่าคาร์บาริล (96hr-LC₅₀ = 7.92 พีพีเอ็ม) อย่างไรก็ตามความเป็นพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลในปลาแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับขอบเขตความทน (rang of tolerance) ในระบบนิเวศแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนคาร์บาริลนั้นมักจะพบมีการปนเปื้อนในปริมาณที่ต่ำเนื่องจากเป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายในสิ่งแวดล้อม ซึ่งปลาที่สัมผัสกับคาร์บาริลในระดับความเข้มข้นที่ต่ำน่าจะไม่มีผลกระทบหรือมีผลกระทบระดับที่ต่ำ แต่ทั้งนี้ก็มีผลการศึกษาพบว่าภายหลังที่ตัวอ่อนของปลาฆ่าลาย (Danio rerio) สัมผัสกับคาร์บาริลที่ระดับความเข้มข้นต่ำมาก ๆ (0.066-600 นาโนกรัมต่อลิตร) ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จะแสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติหลาย ๆ ประการออกมา ทำให้ปลาเกิดความเครียด และมีผลต่อการเจริญเติบโตได้ [11]

สำหรับการศึกษาพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อกุ้งฝอยน้ำจืดที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ พบว่าพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อการตายของกุ้งฝอยน้ำจืดร้อยละ 50 (LC₅₀) ที่ระยะเวลา 24, 28, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 0.21, 0.13, 0.10 และ 0.08 พีพีเอ็ม ตามลำดับ โดยกุ้งฝอยน้ำจืดจะเริ่มตายตั้งแต่ 24 ชั่วโมงแรก ที่สัมผัสกับคาร์บาริล อัตราการตายสะสมจะเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 24 ชั่วโมงแรก และจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนครบ 96 ชั่วโมง กุ้งฝอยน้ำจืดมีปฏิกิริยาต่อการสัมผัสคาร์บาริล คือ มีการว่ายน้ำเร็วขึ้นและพยายามติดตัวขึ้นมาเหนือน้ำ จนหยุดการตอบสนองและจมลงสู่พื้นน้ำ กุ้งฝอยที่ตายจะมีลำตัวอวบ และสีขาวขุ่น ซึ่งคาร์บาริลมีผลทำให้การทำงานของกระบวนการเมตาบอลิซึมพื้นฐานลดลงและส่งผลให้การเจริญเติบโตของกุ้งฝอยลดลงได้ โดยพบรายงานในกุ้งฝอยน้ำจืด *M. malcolmsonii* [4-5] อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของคาร์บาริลต่อกุ้งฝอยน้ำจืดพบว่ามีค่า 96hr-LC₅₀ เท่ากับ 0.08 พีพีเอ็ม (80 ไมโครกรัมต่อลิตรว มคก./ล.) ซึ่งมีค่าความเป็นพิษต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาในกุ้งแก้ว (*Paratya australiensis*) ไร่น้ำ (*Daphnia magna*) และแมลงน้ำกลุ่ม สโตนฟลาย (stoneflies) ซึ่งมีค่า 96hr-LC₅₀ เท่ากับ 5.6,

6 และ 1.7-5.6 มก./ล. ตามลำดับ [8-9, 12]

คาร์บาริลมีความเป็นพิษสูงต่อกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในน้ำมากกว่ากลุ่มสัตว์มีกระดูกสันหลังจำพวกปลา เนื่องจากปลาส่วนใหญ่เป็นสัตว์ที่มีความทนทานดีกว่ากลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ดังนั้นค่าความเป็นพิษจากการศึกษาจึงแตกต่างกันมาก จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จัดคาร์บาริลไว้ในกลุ่มสารพิษที่มีอันตรายน้อย [13] แต่อย่างไรก็ตามการจัดกลุ่มความเป็นพิษขององค์การอนามัยโลกนั้นใช้การวัดความเป็นพิษต่อหนูเป็นเกณฑ์ซึ่งไม่สามารถนำมาประเมินความเป็นพิษต่อกุ้งฝอยน้ำจืดและตัวอ่อนปลาไนได้ซึ่งเป็นสัตว์น้ำ ทั้งนี้ในการพิจารณาความเป็นพิษของสารเคมีที่มีต่อสัตว์ทดลอง นอกจากจะต้องพิจารณาชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมีแล้ว ยังต้องพิจารณาชนิดและลักษณะของสัตว์ที่นำมาใช้ในการทดลองด้วย ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลขั้นต้นในการประเมินความเป็นพิษของคาร์บาริลต่อสัตว์น้ำจืด และใช้เป็นแนวทางสำหรับการเฝ้าระวังในการใช้คาร์บาริลในปริมาณและวิธีการที่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำ และช่วยลดการสะสมของคาร์บาริลในสิ่งแวดล้อมได้

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาขั้นต่อไปควรมีการศึกษาความเป็นพิษเรื้อรัง (chronic toxicity) ของคาร์บาริล เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัตว์ทดลอง รวมทั้งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ทดลอง
2. การศึกษาขั้นต่อไปควรมีการศึกษาการใช้คาร์บาริลและผลกระทบที่มีต่อสัตว์น้ำ ทั้งในสภาพจริงตามธรรมชาติและในห้องปฏิบัติการควบคู่ไปด้วย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโปรแกรมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับสาธารณูปโภค อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. (2555). การนำเข้าสารเคมีกำจัดแมลงกลุ่มออร์แกโนฟอสเฟต. วิจารณ์เพรส.
- [2] Fletcher, M.R., Hunter, K., Barnett, E.A., & Sharp, E.A. (1999). Pesticide poisoning of animals: investigations of suspected incidents in the United Kingdom. A Report of the Environmental Panel of the Advisory Committee on Pesticides. UK, pp. 22-25.
- [3] Uğurlu, P., Satar, E.İ., & Çiçek, T. (2019). The histopathological, cytopathological and ultrastructural effects of carbaryl on gills of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). Environmental toxicology and pharmacology, 71, 103217.

- [4] Bhavan, P.S., & Geraldine, P. (2002). Carbaryl-induced alterations in biochemical metabolism of the prawn, *Macrobrachium malcolmsonii*. *Journal of environmental biology*, 23(2), 157–162.
- [5] Bhavan, P.S., Geraldine, P., & Sowdeswari, R. (2011). Sub-lethal impact of carbaryl on food utilization in the freshwater prawn *Macrobrachium malcolmsonii*. *Journal of environmental biology*, 32(3), 369–373.
- [6] สถาบันวิจัยและพัฒนา ประมงน้ำจืดแห่งชาติ. (2530). เกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 75/2530. กรุงเทพฯ : กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [7] Liwag, A.G., Ocampo, P.P., & Ubaldo, N.N. (2009). Effects of acetylcholinesterase-inhibiting chemicals on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linn) at pre-and post-hatching stages of development. *The philippine entomologist*, 23(2), 155-173.
- [8] U.S. Environmental Protection Agency. (2022, November 13). Interim reregistration eligibility decision for carbaryl. Case 0080, from http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/carbaryl_ired.pdf
- [9] U.S. Environmental Protection Agency. (2022, November 13). Environmental fate and effects division. Revised EFED risk assessment of carbaryl in support of the reregistration eligibility decision (RED), from http://cascade.epa.gov/RightSite/getcontent/Tempfile.pdf?DMW_OBJEC TID=0900007d480153434&DMW_FORMAT=pdf
- [10] Ayoola, S.O. (2008). Toxicity of glyphosate herbicide on Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *African Journal of Agricultural Research*, 3(12), 825-834.
- [11] Faria, M., Bellot, M., Bedrossiantz, J., Ramírez, J., Prats, E., Garcia-Reyero, N., Gomez-Canela, C., Mestres, J., Rovira, X., Barata, C., Oliván, L., Llebaria, A., & Raldua, D. (2022). Environmental levels of carbaryl impair zebrafish larvae behaviour: The potential role of ADRA2B and HTR2B. *Journal of hazardous materials*, 431, 128563.
- [12] A World Compendium. (2000). The pesticide manual, 12th ed., Tomlin, C.D.S., Ed., British Crop Protection Council: Farnham, UK, pp. 67-68.
- [13] กิจชัย ศิริวัฒน์. (2559, 23 กันยายน). สารเคมีกำจัดแมลง. จาก http://www.bdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=396

พฤติกรรมการบริโภคอาหาร : กรณีศึกษานักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Food Consumption Behaviors : A Case Study of Kamphaeng Phet
Rajabhat University Students in Faculty of Science and
Technology and Faculty of Humanities and Social Sciences

ณัฐนิชา คงสมทรง¹, วสุนธรา รตโนภาส^{1,*}

¹โปรแกรมวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

Natthinicha Kongsomsong¹, Wasoontara Ratanopas^{1,*}

¹Public Health Programme, Faculty of Science and Technology,
Kamphaeng Phet University, Kamphaeng Phet, 62000

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงพรรณานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการบริโภคอาหาร : กรณีศึกษานักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กลุ่มตัวอย่างจำนวน 323 คน โดยใช้การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Taro Yamane สุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้สถิติทดสอบที (T-test)

* Corresponding author : wasoontara2556@gmail.com

ผลการวิจัย พบว่าพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาทั้งคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ในภาพรวมอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง ($\bar{X} = 3.20, S.D. = 0.37$ และ $\bar{X} = 3.30, S.D. = 0.44$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพฤติกรรมการบริโภคอาหารระหว่างกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 คณะ พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดโปรแกรมการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพที่ดีให้กับนักศึกษาของทั้งสองคณะต่อไป

คำสำคัญ : พฤติกรรม, การบริโภคอาหาร, นักศึกษา

Abstract

This descriptive research aimed to study food consumption behavior : a case study of Kamphaeng Phet Rajabhat University students in Faculty of Science and Technology and Faculty of Humanities and Social Sciences and to compare food consumption behaviors among students of the Faculty of Science and Technology and the Faculty of Humanities and Social Sciences at Kamphaeng Phet University. A sample of 323 students were calculated from Taro Yamane formula and data sampling were using stratified random sampling. The tools used for data collection were questionnaires and data were analyzed by using frequency, percentage, mean, standard deviation and mean differences were compared by using T-statistics (T-test).

The results showed that both of food consumption behavior of Faculty of Science and Technology and Faculty of Humanities and Social Sciences were at moderate appropriate level ($\bar{X} = 3.20, S.D. = 0.37, \bar{X} = 3.30, S.D. = 0.44$) Moreover, food consumption of this study found that food consumption behavior was statistically significant difference between the sample from 2 faculties. The results of this study can be used as a guideline for organizing a healthy food behavior change program for undergraduate students of both faculties.

Keywords : behaviors, food consumption, student

ที่มาและความสำคัญ

พฤติกรรมการบริโภคอาหารของวัยรุ่นไทยในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะสภาพสังคม วัฒนธรรม และความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้น จากวิถีชีวิตที่เคยรับประทานอาหารพร้อมหน้ากัน ทั้งครอบครัวในบ้าน และเลือกรับประทานอาหารนอกบ้านเนื่องจากสถานการณ์ที่เร่งรีบ [1] ความสำคัญอาหารและโภชนาการ กล่าวคือเป็นรากฐานของมนุษย์ตั้งแต่วัยเด็กจนถึงวัยชรา การได้รับอาหารที่เหมาะสมทั้งประเภทและปริมาณล้วนส่งผลต่อการมีภาวะสุขภาพที่ดีทั้งในปัจจุบัน และต่อไปในอนาคต ในทางตรงกันข้ามการมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ไม่ถูกต้อง เช่น การบริโภคผัก และผลไม้ไม่พอ การบริโภคหวาน มัน เค็มที่มากเกินไป และไม่ถูก

สุขภาพ ส่งผลให้เกิดปัญหาสุขภาพ และโรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่กำลังเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของประเทศ [2] เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดสมอง โรคมะเร็ง และโรคอ้วนลงพุงได้ ซึ่งอัตราตายต่อประชากร 100,000 คน ที่เสียชีวิตด้วยโรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด และโรคหลอดเลือดแดงสมองของจังหวัดกำแพงเพชร (อัตรา 129.17 ต่อ 100,000 ประชากร) ซึ่งข้อมูลระหว่างปี 2559-2563 แสดงให้เห็นว่าอัตราเสียชีวิตด้วยโรคดังกล่าวสูงกว่าภาพรวมทั้งประเทศ (อัตรา 124.65 ต่อ 100,000 ประชากร) [3]

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นมหาวิทยาลัยที่เปิดสอนระดับอุดมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดกำแพงเพชร โดยนักศึกษามีอายุอยู่ในช่วงวัยรุ่นตอนปลาย และวัยผู้ใหญ่ตอนต้น ซึ่งเป็นวัยมีอิสระในการเลือกอาหารเพื่อการบริโภคด้วยตนเอง เลือกและกำหนดบทบาทที่จะแสดงออกซึ่งพฤติกรรมต่าง ๆ เพื่อสุขภาพของตนเองซึ่งหมายถึงรวมถึงพฤติกรรมการบริโภคอาหารได้เอง นักศึกษาที่มาเรียนที่นี่มีทั้งที่มีภูมิลำเนาอยู่ในจังหวัดกำแพงเพชร และภูมิลำเนาที่มาจากต่างจังหวัด ซึ่งต้องมาอาศัยหอพักในมหาวิทยาลัย หรืออาศัยหอพักนอกมหาวิทยาลัย การใช้ชีวิตการเป็นนักศึกษาในรั้วมหาวิทยาลัยที่มีกิจกรรมจำนวนมาก รวมทั้งการมีชั่วโมงเรียนที่ถูกกำหนดโดยหลักสูตรที่นักศึกษาแต่ละบุคคลเรียนอยู่ การทำกิจกรรมร่วมกันกับทางมหาวิทยาลัย การทำรายงานค้นคว้าอิสระ การเตรียมตัวสอบ ที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะนักศึกษาที่เรียนอยู่ที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีการมุ่งเน้นการผลิตบัณฑิตที่มีความสามารถในการใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ การส่งเสริมทักษะที่สอดคล้องกับความทันสมัยต่อยุคดิจิทัล นอกจากนี้มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มีการผลิตบัณฑิตให้มีความความสามารถทางสังคมศาสตร์ และมนุษยศาสตร์ ที่มุ่งเน้นการพัฒนาท้องถิ่น มุ่งพัฒนาคน เป็นต้น ซึ่งความแตกต่างของรูปแบบการเรียนการสอนดังกล่าวอาจส่งผลต่อการมีพฤติกรรมและการใช้ชีวิตในรั้วมหาวิทยาลัย โดยการบริโภคอาหารประกอบกับรูปแบบของจำหน่ายอาหารของจังหวัดกำแพงเพชร โดยเฉพาะรอบมหาวิทยาลัยที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายเนื่องจากมีที่ตั้งอยู่ใกล้ทั้งตลาด ห้างสรรพสินค้า ร้านสะดวกซื้อ ที่ให้บริการได้ตลอด 24 ชั่วโมง ร้านจำหน่ายอาหารทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ที่ให้บริการในลักษณะนั่งรับประทานที่ร้าน และเลือกรับประทานอาหารด้วยตนเอง รวมทั้งมีบริการการส่ง และจัดส่งอาหารผ่านการใช้แอปพลิเคชันนั้น อาจส่งผลต่อพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาได้ มีงานวิจัยที่ศึกษาในนักศึกษาระดับอุดมศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่านักศึกษายังมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารไม่ถูกต้อง และเผชิญต่อการมีสุขภาพโภชนาการเกิน และปัญหาน้ำหนักน้อยกว่าเกณฑ์ยังคงข้อมูลแสดงให้เห็นอยู่ [4, 5, 6] แต่สำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรนั้น ยังอย่างจำกัด และไม่เป็นปัจจุบัน และทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการบริโภคอาหารตามศาสตร์ กล่าวคือ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งจากข้อมูลทีกล่าวมานอกจากจะแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมในการบริโภคอาหารที่จะส่งผลต่อสุขภาพ และอาจนำไปสู่ปัญหาเกี่ยวกับภาวะโภชนาการเกิน และโรคเรื้อรังต่าง ๆ ได้ และข้อมูล ที่มีอยู่อย่างจำกัด และไม่เป็นปัจจุบัน จึงเป็นที่มาของการวิจัยเรื่องพฤติกรรมการบริโภคอาหาร : กรณีศึกษานักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ คือ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และเปรียบเทียบพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research) โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

ประชากร คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรชั้นปีที่ 1-4 จาก 2 คณะ ได้แก่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 525 คน และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ จำนวน 1,158 คน ในปีการศึกษา 2564 รวมทั้ง 2 คณะ จำนวน 1,683 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรชั้นปีที่ 1-4 จาก 2 คณะ ได้แก่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2564 กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของทาโร่ ยามานะ (Taro Yamane) ที่ความเชื่อมั่น 95% ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 323 คน โดยเป็นกลุ่มตัวอย่างจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 101 คน และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ จำนวน 222 คน จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างโดยใช้การสุ่มแบบชั้นภูมิ (Stratified random sampling) จากชั้นปีของทั้ง 2 คณะ

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นแบบสอบถามประเภทเลือกตอบ (Check list) จำนวน 6 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ คณะ ระดับชั้นการศึกษา สถานภาพ พักอาศัย รายได้ และเติมข้อความ (Open ended) จำนวน 2 ข้อ ได้แก่ ส่วนสูง น้ำหนัก

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษา เป็นแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) จำนวน 25 ข้อ มีคำถามด้านบวก จำนวน 14 ข้อ และด้านลบ จำนวน 11 ข้อ มีค่าความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค .94 การแปลผลมีเกณฑ์การแบ่งคะแนนระดับพฤติกรรมการรับประทานอาหาร โดยใช้เกณฑ์ ของเบส (Best) [7] แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้ คะแนนเฉลี่ย 4.21-5.00 หมายถึง มีระดับพฤติกรรมการบริโภคอาหารเหมาะสมที่สุด คะแนนเฉลี่ย 3.41-4.20 หมายถึง มีระดับพฤติกรรมการบริโภคอาหารเหมาะสมดี คะแนนเฉลี่ย 2.61-3.40 หมายถึง มีระดับพฤติกรรมการบริโภคอาหารเหมาะสมปานกลาง คะแนนเฉลี่ย 1.81-2.60 หมายถึง มีระดับพฤติกรรมการบริโภคอาหารเหมาะสมพอใช้ และคะแนนเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึง มีระดับพฤติกรรมการบริโภคอาหารไม่เหมาะสม

การเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการรวบรวมข้อมูลโดยเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – มีนาคม พ.ศ. 2564 โดยให้กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง โดยให้เวลาในการทำแบบสอบถาม 5-10 นาที/ชุด ทำการตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลก่อนนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป โดยกำหนดค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 สำหรับข้อมูลข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม และพฤติกรรมการบริโภคอาหาร วิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระดับพฤติกรรมการบริโภคอาหาร วิเคราะห์ด้วยสถิติทดสอบที (T-test)

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

กลุ่มตัวอย่างนักศึกษาจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 101 คน (ร้อยละ 31.27) ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 52.48 มีอายุระหว่าง 21-22 ปี ร้อยละ 68.32 เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 3 ร้อยละ 67.33 รายได้ต่อเดือน 4,000-5,500 บาท ร้อยละ 59.41 รูปแบบของการเข้าถึงอาหาร คือ สั่งอาหารทางออนไลน์ คิดเป็นร้อยละ 45.54 และมีภาวะโภชนาการปกติ ร้อยละ 66.34 ส่วนกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาจากคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ จำนวน 222 คน (ร้อยละ 68.73) ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 63.06 มีอายุระหว่าง 21-22 ปี ร้อยละ 72.97 เป็นนักศึกษา ชั้นปีที่ 3 ร้อยละ 67.12 รายได้ต่อเดือน 4,000-5,500 บาท ร้อยละ 46.85 รูปแบบของการเข้าถึงอาหาร คือ ซื้ออาหารที่ร้านขายอาหารด้วยตนเอง ร้อยละ 46.85 และมีภาวะโภชนาการปกติ ร้อยละ 68.47 และจากข้อมูลแสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มาจากคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มากกว่าคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้ง 2 คณะ กลุ่มตัวอย่างมีภาวะโภชนาการปกติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยหลายงานวิจัยที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาส่วนใหญ่มีภาวะโภชนาการปกติ แต่ก็ยังพบว่ามีปัญหาทุพโภชนาการอยู่ [4, 5] จากผลการวิจัยครั้งนี้เป็นที่น่าสังเกตว่าถึงแม้ว่ากลุ่มตัวอย่างทั้งจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ จะมีภาวะโภชนาการปกติ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มตัวอย่างจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีภาวะโภชนาการไม่ปกติมากกว่าคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (ร้อยละ 33.66 และ ร้อยละ 31.53 ตามลำดับ) อาจเพราะพฤติกรรมการเข้าถึงอาหารที่แตกต่างกัน โดยพบว่าคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีส่วนมากเลือกสั่งอาหารออนไลน์ ซึ่งอาจเพราะการสั่งอาหารออนไลน์นั้นสามารถให้บริการจัดส่งอาหารตามที่ต้องการ มีความสะดวกสบาย และไม่ต้องการที่จะออกไปรับประทานนอกบ้าน หรือที่พักร หรืออาจสอดคล้องกับสภาพการเรียน การพักอาศัย หรือความเป็นอยู่ของนักศึกษา ทำให้พบการมีภาวะโภชนาการไม่ปกติมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มาจากอีกคณะที่ส่วนใหญ่เลือกซื้ออาหารด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากการสำรวจพฤติกรรมการบริโภคอาหารของประชากร พ.ศ. 2560 [8] ที่พบว่าพฤติกรรมการบริโภคอาหารของวัยรุ่น และเยาวชนไทยมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีที่มีหลากหลาย เช่น ทั้งเพจรีวิวอาหาร ฟู๊ดบล็อกเกอร์ และที่สำคัญ คือ แอปพลิเคชันสั่งซื้ออาหาร ที่มีบทบาทสำคัญในการกำหนดพฤติกรรมการบริโภคอาหาร และการเข้าถึงร้านอาหารง่ายแบบที่ไม่เคยเป็นมาก่อน และยังสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างสั่งอาหารทางออนไลน์ผ่านทางแอปพลิเคชันเนื่องจากการบริการมีรูปแบบที่รวดเร็วในการจัดส่งอาหารมากกว่าไปรับประทานเองที่ร้านขาย [9] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ข้อมูลข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามคณะ (n = 323)

ข้อมูลทั่วไป	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (n = 101)		คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (n = 222)	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
เพศ				
ชาย	48	47.52	82	36.94
หญิง	53	52.48	140	63.06

ตารางที่ 1: ข้อมูลข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามคณะ (n = 323) (ต่อ)

ข้อมูลทั่วไป	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (n = 101)		คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (n = 222)	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
อายุ				
17-18 ปี	2	1.98	3	1.35
19-20 ปี	7	6.93	13	5.86
21-22 ปี	69	68.32	162	72.97
23-24 ปี	23	22.77	44	19.82
ระดับการศึกษาชั้นปี				
ชั้นปีที่ 1	6	5.94	9	4.05
ชั้นปีที่ 2	10	9.90	24	10.81
ชั้นปีที่ 3	68	67.33	149	67.12
ชั้นปีที่ 4	17	16.83	40	18.02
รายได้ต่อเดือน				
น้อยกว่า 3,500 บาท	2	1.98	33	14.86
3,500-4,000 บาท	10	9.90	10	4.51
4,000-5,500 บาท	60	59.41	104	46.85
มากกว่า 5,000 บาท	29	28.71	75	33.78
รูปแบบของการเข้าถึงอาหาร				
สั่งอาหารทางออนไลน์	46	45.55	84	37.84
ซื้ออาหารที่ร้านขายอาหารด้วยตนเอง	39	38.61	91	40.99
ซื้อที่ร้านสะดวกซื้อ	16	15.84	47	21.17
ภาวะโภชนาการ				
น้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์	29	28.71	54	24.32
ปกติ	67	66.34	152	68.47
น้ำหนักเกินเกณฑ์	3	2.97	13	5.86
อ้วน	2	1.98	3	1.35

ตารางที่ 2: การเปรียบเทียบพฤติกรรมบริการโภชนาการของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

พฤติกรรมการบริโภคอาหาร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี		แปล ความ	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์		แปล ความ	t	p-value
	(n = 101)			(n = 222)				
	$\bar{X}$	<i>S.D.</i>		$\bar{X}$	<i>S.D.</i>			
1. รับประทานอาหารครบ 3 มื้อ เข้า กลางวัน เย็น	3.55	.82	ดี	3.72	.86	ดี	-1.691	.092
2. ดื่มน้ำอัดลม	3.17	.43	ปานกลาง	3.21	.48	ปานกลาง	-.779	.437
3. รับประทานอาหารครบ 5 หมู่	3.43	.75	ปานกลาง	3.50	.76	ดี	-.767	.444
4. นับจำนวนแคลอรีของอาหารให้เหมาะสมแก่การบริโภค	3.09	.32	ปานกลาง	3.14	.360	ปานกลาง	-1.266	.207
5. รับประทานอาหารสุก ๆ ดิบ ๆ	2.76	.83	ปานกลาง	2.82	.91	ปานกลาง	-.498	.619
6. รับประทานอาหารหวานจัด/เค็มจัด/มันจัดที่ชอบแบบซ้ำ ๆ	3.36	.69	ดี	3.38	.67	ดี	-.272	.786
7. รับประทานอาหารตรงเวลา	3.15	.43	ปานกลาง	3.26	.50	ปานกลาง	-2.067	.040*
8. ดื่มน้ำสะอาด 6-8 แก้ว/วัน	3.21	.45	ปานกลาง	3.24	.50	ปานกลาง	-.607	.544
9. รับประทานอาหารที่ปรุงเองมากกว่าซื้อ	3.51	.75	ดี	3.51	.76	ปานกลาง	-1.099	.273
10. รับประทานอาหารฟาสต์ฟู้ด เช่น พิซซ่า แฮมเบอร์เกอร์ ไก่ทอด ฯลฯ	3.24	.52	ปานกลาง	3.36	.68	ปานกลาง	-1.708	.089
11. เรียน/ทำกิจกรรมจนลืมรับประทานอาหาร	2.87	.81	ปานกลาง	2.97	.87	ปานกลาง	-.998	.319

ตารางที่ 2: การเปรียบเทียบพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (ต่อ)

พฤติกรรมการบริโภคอาหาร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี		แปล ความ	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์		แปล ความ	t	p-value
	(n = 101)			(n = 222)				
	$\bar{X}$	S.D.		$\bar{X}$	S.D.			
12. รับประทานเป็นอาหารประเภทแซนวิช ขนมปังรองท้องเพื่อเป็นอาหารเข้าประจำ	3.09	.32	ปานกลาง	3.16	.39	ปานกลาง	-1.666	.097
13. ประชุมอาหารด้วยน้ำปลา/น้ำตาลก่อนชิมอาหาร	3.09	.32	ปานกลาง	3.19	.42	ปานกลาง	-2.467	.014*
14. รับประทานอาหารมือเย็นหลังเวลา 20.00 น.	3.19	.51	ปานกลาง	3.33	.57	ปานกลาง	-2.051	.041*
15. เลือกซื้ออาหารโดยพิจารณาความสะอาดของร้านและผู้ขายมากกว่าความอร่อย	3.50	.80	ดี	3.61	.82	ดี	-1.062	.289
16. สังเกตวันหมดอายุก่อนซื้ออาหารพร้อมปรุงหรืออาหารสำเร็จรูป	3.49	.80	ปานกลาง	3.58	.82	ดี	-.981	.328
17. ปรุงอาหารด้วยผงชูรสหรือผงปรุงแต่งรสอาหาร	3.19	.50	ปานกลาง	3.36	.68	ปานกลาง	-2.599	.010*
18. รับประทานผัก และผลไม้ตามฤดูกาลทุกมื้ออาหาร	3.36	.67	ปานกลาง	3.36	.67	ปานกลาง	-.332	.740
19. ดื่มนม 1 แก้ว/วัน	3.20	.54	ปานกลาง	3.41	.72	ปานกลาง	-2.814	.005*
20. รับประทานอาหารจานด่วน	3.09	.32	ปานกลาง	3.14	.36	ปานกลาง	-1.266	.207
21. รับประทานขนมคบเคี้ยว	2.87	.81	ปานกลาง	2.97	.87	ปานกลาง	-.998	.319
23. รับประทานบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป	3.09	.32	ปานกลาง	3.15	.39	ปานกลาง	-1.666	.097

ตารางที่ 2: การเปรียบเทียบพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (ต่อ)

พฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหาร	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี		แปล ความ	คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์		แปล ความ	t	p-value
	(n = 101)			(n = 222)				
	$\overline{X}$	S.D.		$\overline{X}$	S.D.			
24. ดื่มชา/กาแฟ	3.25	.52	ปานกลาง	3.36	.68	ปานกลาง	-1.708	.089
25. รับประทานอาหารรสชาติเผ็ดจัด	3.15	.43	ปานกลาง	3.26	.50	ปานกลาง	-2.067	.040*
ภาพรวม	3.20	.37	ปานกลาง	3.30	.44	ปานกลาง	-2.063	.040*

* p-value < .05

จากตารางที่ 2 ผลการวิจัย พบว่าพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของกลุ่มตัวอย่างในภาพรวมของทั้งคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์อยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง ($\bar{X} = 3.20$, $S.D. = 0.37$ และ $\bar{X} = 3.30$, $S.D. = 0.44$ ตามลำดับ) อาจเนื่องมาจากความชอบส่วนบุคคล มากกว่าการเลือกอาหารเพื่อการบริโภคตามหลักวิชาการ และสภาพแวดล้อมรอบมหาวิทยาลัยที่เอื้อต่อการมีพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารที่ไม่เหมาะสม อาทิเช่น มีร้านสะดวกซื้อที่ให้บริการได้ตลอด 24 ชั่วโมง ร้านจำหน่ายอาหารทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ที่ให้บริการในลักษณะนั่งรับประทานที่ร้าน และเลือกรับประทานอาหารด้วยตนเอง รวมทั้งมีบริการการส่งและจัดส่งอาหารผ่านการใช้แอปพลิเคชันที่หลากหลาย รวมทั้งการมีตลาดนัด และห้างสรรพสินค้า สภาพแวดล้อมเหล่านี้ ล้วนทำให้พฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาที่อยู่ในคณะเดียวกันทั้ง 4 ชั้นปี มีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกานต์ ลิ่มศิริสวัสดิ์ และคณะ [5] ที่พบว่าพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาแพทย์อยู่ในระดับ ปานกลาง และสอดคล้องกับการศึกษาของอดิศักดิ์ หวานใจ และคณะ [10] ที่พบว่าพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของสาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหาดใหญ่ในภาพรวมอยู่ในระดับพอใช้

การวิเคราะห์เปรียบเทียบพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ผลการวิจัย พบความแตกต่างของพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของทั้ง 2 คณะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยพบว่าพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหาร บางประการของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 คณะ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มาจากคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีระดับคะแนนเฉลี่ยของพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มาจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ได้แก่ 1) รับประทานอาหารตรงเวลา 2) ประชุมอาหารด้วยน้ำปลา/น้ำตาลก่อนชิมอาหาร 3) รับประทานอาหารมือเย็นหลังเวลา 20.00 น. 4) ประชุมอาหารด้วยผงชูรส หรือผงปรุงรส แต่งรสอาหาร 5) ดื่มนม 1 แก้ว/วัน 6) รับประทานอาหารขนมหวาน และ 7) รับประทานอาหารรสชาติเผ็ดจัด เป็นต้น ซึ่งขัดแย้ง

กับงานวิจัยอดีตที่ดี หวานใจ และคณะ ที่พบว่าพฤติกรรมการบริโภคอาหารของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับพอใช้ และเมื่อพิจารณารายข้อ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่รับประทานอาหารมื้อเย็น และส่วนน้อยที่รับประทานอาหารเช้า และชอบรับประทานอาหารรสเผ็ด

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยที่พบว่าพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาทั้งคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ในภาพรวมอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง ($\bar{X} = 3.20, S.D. = 0.37$ และ $\bar{X} = 3.30, S.D. = 0.44$) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพฤติกรรมการบริโภคอาหารระหว่างนักศึกษา 2 คณะ พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งนำไปสู่การข้อเสนอแนะทั้งในการนำผลการวิจัยไปใช้ กล่าวคือ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพในพื้นที่สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดโปรแกรมการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่เหมาะสม และเพื่อการมีสุขภาพที่ดีโดยมุ่งไปที่พฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ต่างกัน 7 ประการที่พบว่านักศึกษาของทั้ง 2 คณะมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ต่างกันโดยเฉพาะนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำหรับข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป กล่าวคือควรเก็บรวบรวมข้อมูลทุกคณะที่เปิดทำการเรียนการสอนในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร รวมถึงเพิ่มตัวแปรที่อาจเกี่ยวข้องกับ การก่อให้เกิดพฤติกรรมโดยเฉพาะพฤติกรรมการบริโภคอาหาร อาทิเช่น ตัวแปรที่เกี่ยวข้องเชิงทางสังคม และสภาพแวดล้อม เป็นต้น รวมทั้งตัวแปรที่แสดงให้เห็นถึงผลที่อาจเกิดจากการมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ไม่เหมาะสม เช่น ค่าดัชนีมวลกาย เส้นรอบเอว เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาของอาจารย์โปรแกรมวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้คำปรึกษา และชี้แนะงานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปวิณภัทร นิธิตันติวัฒน์ และวรางคณา อุดมทรัพย์. (2560). พฤติกรรมการบริโภคอาหารของวัยรุ่นไทยผลกระทบและแนวทางแก้ไข. วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้าจันทบุรี, 28(1): 122-128.
- [2] ปันนดา จันทรสุกรี และวศิน แก้วชาญคำ. (2561). สภาพแวดล้อมทางอาหารภายในมหาวิทยาลัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการบริโภคเพื่อสุขภาพของนักศึกษาไทย. กรุงเทพฯ: สำนักวิจัยสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- [3] กองโรค ไม่ติดต่อ. (2564). จำนวน และ อัตราตาย ด้วย 5 โรค ไม่ติดต่อ (NCD) ปี 2559-2563. <http://www.thaincd.com/2016/mission/documents-detail.php?id=14220&tid=32&gid=1-020>

- [4] สุสิตรา สิงโสม. (2562). การศึกษาภาวะโภชนาการ และพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาสาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- [5] กานต์ ลีมีศิริสวัสดิ์ และคณะ. (2564). พฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาแพทย์ชั้นปีที่ 3-5 คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล. วชิรเวชสารและวารสารเวชศาสตร์เขตเมือง, 64(2): 133-144.
- [6] สิริไพศาล ยิ้มประเสริฐ. (2560). พฤติกรรม การ บริโภค อาหาร ของ นักศึกษา ระดับ ปริญญา ตรี ชั้น ปี ที่ 1 มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา. วารสารราชพฤกษ์, 15(1): 33-41.
- [7] Best, J.W. (1977). Research is Evaluation. (3rd ed). Englewood cliff: N.J. Prentice Hall.
- [8] วิชัย เอกพลากร, หทัยชนก พรหมเจริญ และ วราภรณ์ เสถียรนพแก้ว. (2564). การสำรวจสุขภาพประชาชนไทย โดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2562-2563. กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [9] ชุติพรรณ แสนพันธ์ และลีลา เต๋ยสูงเนิน. (ม.ป.ป.). พฤติกรรมการเลือกใช้บริการฟู้ดเดลิเวอรี่ด้วย Mobile Application ของผู้บริโภคในเขตนนทบุรี. <https://grad.dpu.ac.th/upload/content/files/Year8-2/8213.pdf>
- [10] อติศักดิ์ หวานใจ และคณะ. (2562). พฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักศึกษาสาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาไถ่. ใน การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 11 ณ มหาวิทยาลัยมหาไถ่ (น.1042-1051). มหาวิทยาลัยมหาไถ่.

การคำนวณสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าคงที่และสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม

The Calculated Equation of Motion of a Single Particle in the Electric Fields and Magnetic Fields by Classical Process

วรารุ สอาดสิน, สรายุทธ พานเทียน*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

Warawut Sa-adsin, Sarayut Pantian*

Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi province 15000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เรามุ่งเน้นนำเสนอการใช้ทักษะคณิตศาสตร์ระดับปริญญาตรีหาสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดี่ยวที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่ในแนวแกน x และแกน y และสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในแนวแกน z ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมด้วยการใช้สมการออยเลอร์-ลากรางจ์พบว่าสมการการเคลื่อนที่สอดคล้องกับวิธีที่ใช้เมทริกซ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ในแกนแกน x และแกน y อยู่ในรูป $A = -D$ และ $B = C$ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีความซับซ้อนมากกว่าวิธีการสมมติตัวแปรและวิธีการเมทริกซ์

คำสำคัญ : กลศาสตร์ควอนตัม, กิริยาแบบดั้งเดิม, อินทิกรัลตามเส้นทาง, สนามไฟฟ้า, สนามแม่เหล็ก

Abstract

This research aims to present the using of undergraduate math content, solved differential equation problem, to find the equations of motion of a single particle under constant electric fields in the x - and y -axis and uniform magnetic fields in the z -axis by Euler-Lagrange's equation. We found

* Corresponding author : sarayut.p@lawasri.tru.ac.th

that the equation of motion corresponds to the matrix method. The relationship between the coefficients in the x-axis and the y-axis is in the form $A = -D$ and $B = C$. The resulting coefficients are more complex than the assume a variable and matrix methods.

Keywords : quantum mechanics, classical action, path integral, electric field, magnetic field

ที่มาและความสำคัญ

วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่มุ่งเน้นอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติเชิงกายภาพซึ่งแบ่งออกเป็นแขนงย่อยมากมาย หนึ่งในแขนงย่อยที่ได้รับความสนใจได้แก่กลศาสตร์ควอนตัม (Quantum Mechanics) ที่เน้นอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของอนุภาคขนาดเล็กในระดับอะตอมที่มีความไม่แน่นอนสูง ด้วยพฤติกรรมของอนุภาคเหล่านี้จึงไม่อาจใช้กลศาสตร์แบบดั้งเดิม (Classical Mechanics) มาคำนวณหาตำแหน่ง ความเร็ว หรือโมเมนตัมของอนุภาคที่แน่นอนได้ อย่างไรก็ตามในการคำนวณทางกลศาสตร์ควอนตัมยังต้องอาศัยรากฐานจากกลศาสตร์แบบดั้งเดิมพัฒนาแนวคิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่องจากกลศาสตร์แบบนิวตันไปสู่กลศาสตร์ลากรางจ์ จากนั้นพัฒนาไปยังกลศาสตร์แบบแฮมิลตันและกลศาสตร์แบบแฮมิลตัน-จาโคบี ผสมรวมกับแนวคิดต่าง ๆ จนท้ายที่สุดกลายเป็นกระบวนการคำนวณแบบกลศาสตร์ควอนตัมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน [1]

กลศาสตร์ควอนตัมในปัจจุบันที่ใช้ในการศึกษาและวิจัยแบ่งออกเป็น 3 แนวคิด ได้แก่ 1. แนวคิดแบบชโรดิงเงอร์ (Schrodinger picture) ที่ใช้กลศาสตร์คลื่นเป็นหลักในการศึกษา 2. แนวคิดแบบไฮเซนเบิร์ก (Heisenberg picture) ที่ใช้กลศาสตร์เมทริกซ์เป็นหลักในการศึกษา 3. แนวคิดแบบของไฟน์แมน (Feynman picture) ที่ใช้แนวคิดการอินทิเกรตไม่ขึ้นกับเส้นทางเป็นหลัก ทั้งสามแนวคิดนี้สามารถอธิบายในสิ่งเดียวกันได้ขึ้นกับผู้วิจัยจะเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับสิ่งที่ตนเองต้องการศึกษา [2] ทั้งนี้ พบว่าการทำวิจัยในปัจจุบันมีการนำแนวคิดแบบของไฟน์แมนมาใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของอนุภาคมากขึ้นเนื่องจากสามารถต่อยอดการคำนวณการศึกษาพฤติกรรมของอนุภาคในทฤษฎีสถานควอนตัม (Quantum field theory) ซึ่งเป็นการผสมรวมแนวคิดของทฤษฎีสัมพัทธภาพกับทฤษฎีควอนตัมได้ใกล้เคียงกับผลการทดลองอย่างแม่นยำ แต่ด้วยการคำนวณตามแนวคิดของไฟน์แมนมีความซับซ้อนในทางคณิตศาสตร์ค่อนข้างมาก จึงเป็นเหตุให้การศึกษากลศาสตร์ควอนตัมตามแนวคิดแบบของไฟน์แมนส่วนมากจะศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาขึ้นไป

การคำนวณพฤติกรรมของอนุภาคในสนามไฟฟ้าคงที่และสนามแม่เหล็กตามแนวคิดแบบของไฟน์แมนได้ถูกศึกษาและวิจัยแล้ว [2-4] ด้วยวิธีการใช้เมทริกซ์หรืออาจใช้ฟังก์ชันกรีน (Green's function) เข้าช่วยเพื่อให้การแก้สมการง่ายขึ้น ทว่าด้วยกระบวนการดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ทักษะและความเข้าใจในคณิตศาสตร์ค่อนข้างสูง เป็นเหตุให้นักศึกษาในระดับปริญญาตรีทำความเข้าใจกระบวนการคำนวณได้ยาก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์นำเสนอวิธีการหาสมการการเคลื่อนที่แบบดั้งเดิมของอนุภาคในสนามไฟฟ้าคงที่และสนามแม่เหล็กด้วยวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณกิริยาแบบดั้งเดิม (Classical action) ที่จะนำไปสู่การหาตัวแพร่ (Propagator) ของกลศาสตร์ควอนตัมตามแนวคิดของไฟน์แมนซึ่งเป็นวิธีที่นักศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิตสามารถคำนวณได้ เพื่อเป็นทักษะพื้นฐานสำคัญที่จะทำให้บัณฑิตสามารถต่อยอดทักษะดังกล่าวให้เกิดความ

เข้าใจและต่อยอดความรู้ในระดับสูงต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น ส่วนดังต่อไปนี้

1. กำหนดสถานะการณ์ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาค
2. ออกแบบการคำนวณ โดยการคำนวณมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(2.1) นำศักยภาพจากสถานะการณ์กำหนดไว้จากข้อที่ 1 มาระบุลากรางเจียนของระบบดังสมการ

$$L(\vec{r}, \dot{\vec{r}}; t) = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - \sum V(x, y, z), \quad (1)$$

(2.2) คำนวณหาสมการการเคลื่อนที่โดยใช้สมการออยเลอร์-ลากรางจ์ (Euler-Lagrange's equation) ในแนวแกน x และแนวแกน y ตามสมการ

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{d\dot{x}} \right) = \frac{dL}{dx}, \quad (2a)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{dL}{d\dot{y}} \right) = \frac{dL}{dy}. \quad (2b)$$

(2.3) จัดรูปสมการให้อยู่ในรูปขึ้นกับ x อย่างเดียว หรือขึ้นกับ y อย่างเดียวเพื่อทำการแก้สมการหาผลเฉลยทั่วไป

(2.4) กำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพื่อทำการหาค่าคงที่เลือกได้ (arbitrary constant) ที่ได้จากการอินทิเกรต

3. วิเคราะห์ผลการวิจัย
4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในการนำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย ผู้วิจัยของนำเสนอเรียงตามหัวข้อวิธีการดำเนินการวิจัยกำหนดไว้ ดังต่อไปนี้

1. กำหนดสถานะการณ์และศักยภาพที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาค ในการวิจัยครั้งนี้เราสมมติสถานะการณ์ให้อนุภาคมวล m ที่มีประจุไฟฟ้า q อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่ในแนวแกน $x - y$ และสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในแนวแกน $+z$ และกำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวแกน z , $\dot{z} = 0$
2. คำนวณหาสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดียวในสนามไฟฟ้าคงที่และสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอ

(2.1) นำศักยภาพจากสถานะการณกำหนดไว้จากข้อที่ 1 มาระบุลากรานเจียนของระบบดังสมการที่ (1) จะได้ว่า [3]

$$L(\dot{\vec{r}}, \vec{r}, t) = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) - qE_x x - qE_y y + \frac{m\omega}{2}(xy - yx) \quad (3)$$

เมื่อ $\omega = \frac{e\beta}{mc}$ คือ ความถี่ไซโคลตรอน และ คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก และ e คือ ค่าประจุอิเล็กตรอน และ c คือ อัตราเร็วของแสง และ E_x และ E_y คือ ความเข้มสนามไฟฟ้าในแนวแกน x และ y ตามลำดับ จากสมการที่ (13) จะได้สมการเคลื่อนที่อธิบายสนามไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดโพลาริเซชันตามเวลา

(2.2) คำนวณหาสมการการเคลื่อนที่โดยใช้สมการออยเลอร์-ลากรานจ์ ในแนวแกน x และแนวแกน y ตามสมการ (2a) และ (2b) ได้ผลดังสมการ

$$\text{แกน } x ; \quad \ddot{x} - \omega\dot{y} + \frac{qE_x}{m} = 0 \quad \text{หรือ} \quad \ddot{x} = \omega\dot{y} - \frac{qE_x}{m} \quad (4)$$

$$\text{แกน } y ; \quad \ddot{y} - \omega\dot{x} + \frac{qE_y}{m} = 0 \quad \text{หรือ} \quad \ddot{y} = \omega\dot{x} - \frac{qE_y}{m} \quad (5)$$

(2.3) จัดรูปสมการให้อยู่ในรูปขึ้นกับ x อย่างเดียว หรือขึ้นกับ y อย่างเดียวเพื่อทำการแก้สมการหาผลเฉลยทั่วไป สำหรับแกน x เริ่มต้นจากการทำอนุพันธ์สมการ (4) เทียบกับเวลา จะได้

$$\ddot{x} - \omega\ddot{y} = 0 \quad (6)$$

แทนค่าสมการ (5) ลงในสมการ (6) จะได้

$$\ddot{x} - \omega^2\dot{x} = -\frac{\omega qE_y}{m} \quad (7)$$

ทำการอินทิเกรตและแก้สมการเชิงอนุพันธ์อันดับสองโดยสมมติคำตอบให้อยู่ในรูป $x = e^{\mu t}$ รวมทั้งใช้สูตรของออยเลอร์ (Euler's formula) เพื่อแปลงรูปผลเฉลยให้อยู่ในรูปฟังก์ชันตรีโกณ ผลเฉลยทั่วไปเขียนได้ในรูป

$$x(t) = \frac{A}{\omega}\sin\omega t - \frac{B}{\omega}\cos\omega t - \frac{E_y q t}{m\omega} + Const1 \quad (8)$$

กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น $x(0) = 0$ เพื่อหาค่าคงที่ $Const1$ การสมการ (8) เขียนใหม่ได้ว่า

$$x(t) = \frac{A}{\omega}\sin\omega t - \frac{B}{\omega}\cos\omega t - \frac{E_y q t}{m\omega} + \frac{B}{\omega} \quad (9)$$

เราทำวิธีการลักษณะเดียวกันกับแกน x มาใช้กับแกน y เราได้ผลเฉลยทั่วไปว่า

$$y(t) = \frac{C}{\omega}\sin\omega t - \frac{D}{\omega}\cos\omega t - \frac{E_x q t}{m\omega} + \frac{D}{\omega} \quad (10)$$

นำค่า $x(t)$ และ $y(t)$ จากสมการ (9) และ (10) แทนค่าลงในสมการ (4) เพื่อเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ A, B, C และ D เราได้

$$-A\omega\sin\omega t + B\omega\cos\omega t - C\omega\cos\omega t - \frac{E_x q}{m} + \frac{E_x q}{m} = 0 \quad (11)$$

สมการ (11) แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ว่า $A = -D$ และ $B = C$ ด้วยเหตุนี้ เราจึงมุ่งหาค่าสัมประสิทธิ์ A และ B จากนั้นใช้ความสัมพันธ์นี้เพื่อระบุค่าสัมประสิทธิ์ C และ D อีกครั้งหนึ่ง

- (2.4) กำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ A และ B และให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้ในการต่อยอดการคำนวณในงานวิจัยนี้กับการใช้ในการคำนวณด้วยวิธีอินทิเกรตตามวิถีของไฟฟ์แมน จึงกำหนดให้ $x(t_a) = x_a$ และ $x(t_b) = x_b$ สมการ (9) เขียนใหม่ได้ว่า

$$x_a = \frac{A}{\omega} - \frac{B}{\omega} \cos \omega t_a - \frac{E_y q t_a}{m\omega} + \frac{D}{\omega}, \quad (12a)$$

$$x_b = \frac{A}{\omega} - \frac{B}{\omega} \cos \omega t_b - \frac{E_y q t_b}{m\omega} + \frac{D}{\omega} \quad (12b)$$

ในลักษณะเดียวกันกับแกน x เรากำหนดให้ $y(t_a) = y_a$ และ $y(t_b) = y_b$ สมการ (10) เขียนใหม่ได้ว่า

$$y_a = \frac{C}{\omega} - \frac{a}{\omega} \cos \omega t_a - \frac{E_x q t_a}{m\omega} + \frac{D}{\omega}, \quad (13a)$$

$$y_b = \frac{C}{\omega} - \frac{b}{\omega} \cos \omega t_b - \frac{E_x q t_b}{m\omega} + \frac{D}{\omega} \quad (13b)$$

นำสมการ (12a) ลบกับสมการ (12b) และนำสมการ (13a) ลบกับสมการ (13b) จากนั้นนำผลลบของสมการทั้งสองมาใส่ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ให้อยู่ในรูป A และ B เท่านั้น จากนั้นแก้สมการหาค่าสัมประสิทธิ์ A และ B ซึ่งได้คำตอบดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} A = & \frac{\omega(x_b - x_a)}{\sin \omega t_b - \sin \omega t_a} + \frac{\omega(y_b - y_a)(\cos \omega t_b - \cos \omega t_a)}{2 - 2 \cos \omega(t_b - t_a)} \\ & - \frac{\omega(x_b - x_a)(\cos \omega t_b - \cos \omega t_a)^2}{\sin \omega t_b - \sin \omega t_a [2 - 2 \cos \omega(t_b - t_a)]} \\ & - \frac{\frac{E_y q(t_b - t_a)}{m}(\cos \omega t_b - \cos \omega t_a)^2}{\sin \omega t_b - \sin \omega t_a [2 - 2 \cos \omega(t_b - t_a)]} \\ & + \frac{\frac{E_x q(t_b - t_a)}{m}(\cos \omega t_b - \cos \omega t_a)}{2 - 2 \cos \omega(t_b - t_a)} + \frac{\frac{E_y q(t_b - t_a)}{m}}{\sin \omega t_b - \sin \omega t_a} \end{aligned} \quad (14)$$

และ

$$\begin{aligned} B = & \frac{\omega(y_b - y_a) \sin \omega t_b - \sin \omega t_a}{2 - 1 \cos \omega(t_b - t_a)} + \frac{\omega(x_b - x_a)(\cos \omega t_b - \cos \omega t_a)}{2 - 2 \cos \omega(t_b - t_a)} \\ & - \frac{\frac{E_y q(t_b - t_a)}{m}(\cos \omega t_b - \cos \omega t_a)}{2 - 2 \cos \omega(t_b - t_a)} - \frac{\frac{E_x q(t_b - t_a)}{m}(\sin \omega t_b - \sin \omega t_a)}{2 - 2 \cos \omega(t_b - t_a)} \end{aligned} \quad (15)$$

สัมประสิทธิ์ที่ได้ตั้งสมการที่ (14) และ สมการที่ (15) นั้น หากแปลความอาจกล่าวได้ว่าเป็นแอมพลิจูดของสมการคลื่นอันเป็นการระบุตำแหน่งของอนุภาคตามแนวคิดแบบดั้งเดิมซึ่งขึ้นกับความถี่ไซโคลตรอนเวลา และขนาดของสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ สำหรับผลเฉลยแบบเฉพาะเจาะจงของสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดี่ยวที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่ในแนวแกน x และแกน y และสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในแนวแกน z นำเสนอในสองแนวแกน แกน x คือสมการ (9) ส่วนแกน y คือสมการ (10) โดยสมการดังกล่าวและค่าสัมประสิทธิ์มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการใช้เมทริกซ์ [2-3] ถึงแม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะมีความซับซ้อนแต่กระบวนการและทักษะที่ใช้ในการคำนวณนักศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิตสามารถคำนวณได้ และสามารถนำไปต่อยอดการหาค่ากิริยาแบบดั้งเดิมเพื่อกำหนดตัวแปรและฟังก์ชันคลื่นตามวิธีการอินทิเกรตตามวิถีของไฟฟ์แมนได้

สรุปผลการวิจัย

การหาสมการการเคลื่อนที่ของอนุภาคเดี่ยวที่อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าคงที่ในแนวแกน x และแกน y และสนามแม่เหล็กสม่ำเสมอในแนวแกน z ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมด้วยการใช้สมการออยเลอร์-ลากรางจ์พบว่าสมการการเคลื่อนที่สอดคล้องกับวิธีการใช้เมทริกซ์ ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ในแกนแกน x และแกน y อยู่ในรูป $A = -D$ และ $B = C$ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มีความซับซ้อนแต่สามารถใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ระดับปริญญาตรีคำนวณได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนสถานที่และเวลารวมถึงผลักดันให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Halliday, D. Resnick, R. and Walker, J. (2005), Fundamental of Physics. 7th Edition. John Wiley and Sons, Inc.
- [2] วิรุฬห์ สายคณิต. (2552), ทฤษฎีควอนตัม. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- [3] นิคม ชูศิริ. (2541). อินทิกรัลตามเส้นทางของก๊าซอิเล็กตรอนในระบบสองมิติภายใต้อิทธิพลของแรงฮาร์มอนิกส์ สนามไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก และศักย์แบบไร้ระเบียบ. มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [4] เอกพันธ์ จันผิง, อัญญชัช ธารสุวรรณ, วิทยา ทิพย์อักษร และ นิคม ชูศิริ, (2551), อินทิกรัลตามเส้นทางสำหรับกึ่งฮาร์มอนิกอสซิลเลเตอร์. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 11(2), 24-29.

การศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในวิทยาลัยพลังงานทดแทน และสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

A Study of Carbon Dioxide Absorption in School of Energy and Smart Grid Technology Naresuan University

ภาคิน มณีโชติ¹, ชินพรรณ หมอนจันทร์¹, ปิยฉัตร ชูธรรม¹, พิสิษฐ์ มณีโชติ²,
ประพิธาร์ ธนารักษ์², พชรินทร์ เยาวรัตน์² และ เทพ เกื้อทวีกุล^{1,*}

¹โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

²วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

Pakin Maneechot¹, Chinnaphat Mornjan², Piyachat Chutham³, Pisit Maneechot²,
Prapita Thanarak², Phatcharin Yaowarat² and Thep Kueathaweekun^{1,*}

¹Energy Technology Program, Faculty of Industrial Technology,
Kamphaeng Phet Rajabhat University, Kamphaeng 62000

²School of Renewable Energy and Smart Grid Technology,
Naresuan University, Phitsanulok 65000

บทคัดย่อ

ในวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและศักยภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ในศักยภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสำรวจชนิดต้นไม้และพื้นฐานข้อมูลในระบบไปใช้ประโยชน์ในโอกาสต่อไป ซึ่งในวิจัยนี้จะมีการสำรวจต้นไม้เพื่อวัดขนาดเส้นรอบวง ระยะเวลา และมุมเพื่อหาค่าการดูดซับ

* Corresponding author : thep_k@kpru.ac.th

ของต้นไม้โดยแบ่งเป็นโซน A B C และ D รวมทั้งหมด 580 ต้น ในแต่ละต้นก็มีค่าดูดซับที่แตกต่างกันตามแต่ชนิดพันธุ์ไม้ อีกทั้งยังสำรวจการใช้ยานพาหนะภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร มาคำนวณหาค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อเปรียบเทียบการดูดซับและการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ว่า ต้นไม้ทั้งหมดสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของการใช้ยานพาหนะภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรได้ทั้งหมดหรือไม่

จากผลการศึกษาวิจัยพบว่า การหาค่าการดูดซับคาร์บอนโดยใช้สูตรสมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพ จำแนกตามชนิดป่าจะได้ค่าดูดซับของต้นไม้แต่ละต้นก็จะได้ 257.24 กิโลคาร์บอนต่อปี และการเก็บข้อมูลการใช้ยานพาหนะภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร และนำข้อมูลมาคำนวณโดยอ้างอิงจากคู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมืองและ Emission Factor จะได้ค่าการปลดปล่อยพลังงานจากยานพาหนะชนิดต่างๆ เป็นเวลา 7 วันรวมทั้งหมด 11.66 กิโลคาร์บอน เฉลี่ยวันละ 1.66 กิโลคาร์บอนต่อวัน คิดเป็น 435.01 กิโลกรัมต่อปี การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้สามารถดูดซับคาร์บอนได้ 59 % ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากยานพาหนะ โดยมีค่าความต่างระหว่างการดูดซับและการปลดปล่อยคือ 177.77 กิโลคาร์บอนต่อปี

คำสำคัญ : ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, การดูดซับ, สมการแอลโลเมตรี

Abstract

In this research, studies on carbon oxide absorption in college of renewable energy and smart grid technologies, Naresuan University are present. The objectives to study the amount of carbon store and carbon dioxide absorption potential of trees in carbon dioxide absorption potential and to explore tree species and use it as a database in the system for the future. In this research, trees are survey to measure circumference, distance, angle to determine the absorbency of trees divided into zones A, B, C and D, totaling 580 trees, each with different adsorption values depending on species of plants. It also explores the use of carriers within the college of renewable energy and smart grid technologies, Naresuan University. The carbon dioxide emissions calculate to compare the carbon absorption and carbon emissions that all trees could absorb from the CO₂ emissions of vehicles within the college of renewable energy and smart grid technologies. Naresuan University got it all.

From the research, it find that determination of carbon adsorption by using the allometrical equation formula to estimate biomass classified by forest type, the adsorption value of each tree would be 257.24 kCO₂ per year and vehicle usage data collection within the college of renewable energy and smart grid technologies, Naresuan University. Put data for calculate by referring to manual of data generation on the amount on greenhouse gas in the city level. The energy emissions from various types of vehicles for 7 days totaling 11.66 kCO₂, average 1.66 kCO₂ per day, and equiva-

lent to 435.01 kCO₂ per year Carbon Dioxide Absorption Trees can absorb 59% of the carbon dioxide emissions from vehicles. The difference between adsorption and discharge was 177.77 kCO₂ per year.

Keywords : carbon dioxide, adsorption, allometry equation

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้นจากภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งมีต้นเหตุจากการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ การขนส่งและ การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนั้น มนุษย์เรายังได้เพิ่มก๊าซกลุ่มไนตรัสออกไซด์ และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) และการตัดไม้ทำลายป่าจำนวนมากเพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่มนุษย์ส่งผลให้กลไกในการดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกไปจากระบบบรรยากาศถูกลดทอนประสิทธิภาพลงทำให้เกิดภาวะโลกร้อนและปรากฏการณ์ต่าง ๆ เช่น สภาพอากาศแปรปรวนมากขึ้น การระเหยของน้ำมากขึ้นธารน้ำแข็งและน้ำแข็งทั่วโลกละลาย การอพยพย้ายที่อยู่อาศัยเนื่องจากน้ำท่วมและการเกิดโรคภัยเพิ่มขึ้น เป็นต้น ในหลายๆ ประเทศได้ตระหนักถึงปัญหาภาวะโลกร้อนและได้พยายามหาแนวทางแก้ไข ดังจะเห็นได้จากการลงนามในกฎบัตรนานาชาติ เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (UNFCC-The United Nations Framework Convention on Climate Change) ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนที่สำคัญแบ่งออกเป็นสองแนวทางได้แก่ การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการเพิ่มศักยภาพในการดูดซับก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญโดยการเพิ่มพื้นที่ป่า เนื่องจากต้นไม้จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งผลผลิตที่ได้จะสะสมไว้ในรูปของมวลชีวภาพ (Biomass) การมีพื้นที่สีเขียว (Green area) มีความสำคัญกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากเป็นพื้นที่ให้ความร่มรื่นเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจ และที่สำคัญเป็นแหล่งที่เต็มไปด้วยก๊าซออกซิเจน (O₂) ที่มีความจำเป็นต่อระบบร่างกาย โดยต้นไม้จะมีหน้าที่กักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และผลิตออกซิเจนออกมาสู่บรรยากาศ ซึ่งต้นไม้เป็นตัวแปรสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนเป็นไปตามอัตราความเจริญเติบโตของต้นไม้ เมื่อต้นไม้มีการเจริญเติบโตที่มากจะมีความสามารถดูดซับคาร์บอนได้มากตามไปด้วย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้จะสามารถช่วยลดสภาวะโลกร้อนได้ การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และมีผลสัมพันธ์โดยตรงกับการกักเก็บคาร์บอน โดยการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้สมการแอลโลเมตริก (Allometric) ประมาณมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของต้นไม้ และในการคำนวณหามวลชีวภาพต้นไม้นั้นมีความแตกต่างในแต่ละสายพันธุ์โดยส่วนใหญ่ มวลชีวภาพของต้นไม้จะมีความสัมพันธ์ ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของต้นไม้ ลำต้น กิ่ง ใบ เป็นต้น

การศึกษาและวิจัยการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงมีความสำคัญต่อแก้ปัญหาโลกร้อน ซึ่งมีได้มีนักวิจัยได้ทำการศึกษา ได้ทำการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ ป่าชุมชนห้วยข้าวกล้า อำเภोजันทพะเยา [1] การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในสวนสันติภาพกรุงเทพมหานคร [2] การกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ [3] การกักเก็บคาร์บอนและการประเมินผลประโยชน์

ร่วมของพื้นที่ป่าอนุรักษ์และป่าเศรษฐกิจ ณ สถานีวิจัยและฝักนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา [4] การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น [5] การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของป่าชายเลน บริเวณพื้นที่สงวนชีวมณฑลระนอง [6] และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนสามใบ หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ [7] ตามลำดับ จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นการศึกษากักเก็บคาร์บอนและมวลชีวภาพของต้นไม้และสวนป่าในพื้นที่ต่างๆ ของประเทศไทย ซึ่งจะทำให้รู้สถานการณ์การกักเก็บคาร์บอนและสามารถวางแผนและบริหารจัดการเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับประเทศไทยได้ โดยในพื้นที่ต่างๆ จะมีองค์ประกอบและการดูดซับคาร์บอนที่แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าสามารถศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและศักยภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ในศักยภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ชนิดต้นไม้ต่างๆ จะส่งผลให้สามารถบริหารจัดการเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับประเทศไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นมหาวิทยาลัยที่ต้องอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก โดยในพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายสายพันธุ์ของต้นไม้ และมีขนาดของต้นไม้ แตกต่างสลับกันไป ซึ่งก็เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่ใช้พักผ่อนหย่อนใจ สำหรับอาจารย์และนักศึกษา ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่ต่างๆ แต่ละโซนของวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี และการวิเคราะห์ข้อมูลการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะที่เข้ามาในบริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรและใช้เป็นฐานข้อมูลในการบริหารจัดการเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับชุมชนมหาวิทยาลัยนเรศวรและประเทศไทยต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษางานวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเพื่อศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ในบริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร และนำข้อมูลไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากยานพาหนะของบุคลากรที่ทำงานในวิทยาลัยพลังงาน โดยประชากรในการศึกษาครั้งนี้คือ ต้นไม้ที่อยู่ในบริเวณของมหาวิทยาลัยพลังงาน ที่มีความสูงตั้งแต่ 5 เมตรขึ้นไป และมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5 เซนติเมตรขึ้นไป ซึ่งมีทั้งหมด 580 ต้น และจำนวนยานพาหนะของบุคลากร และลำดับขั้นตอนการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

1. วิธีการวัดความสูงของต้นไม้

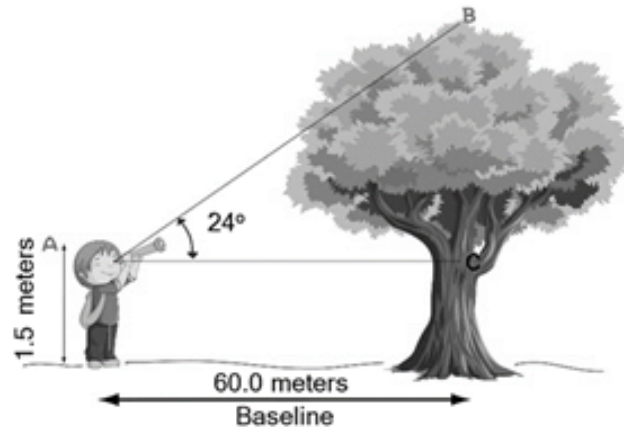
1.1 เลือกต้นไม้ ที่เป็นไม้ยืนต้นที่ตั้งอยู่บนระดับเกี่ยวกับผู้สังเกต และมีความสูงมากกว่า 4 - 5 เมตร

1.2. การวัดความสูง

1.2.1 บันทึกระยะทาง จากผู้สังเกตถึงโคนต้นไม้ที่เลือกไว้ระยะทางนี้คือ เส้น AC

1.2.2 วัดและบันทึกความสูงของต้นไม้จากพื้นดินจนถึงระดับสายตาของผู้สังเกต

1.2.3 มองผ่านหลอดพลาสติกบนโคลโนมิเตอร์ไปยังปลายยอดสุดของต้นไม้เส้นเชือกที่ผูกผูกตุ้ม



ภาพที่ 1: การวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้โคลิโมเตอร์

หลัก ไม้จะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลก จะทำให้เกิดมุมเงย BAC จดบันทึกค่ามุมเงยไว้

1.3 คำนวณความสูงของต้นไม้

$$\text{ความสูงของต้นไม้(เมตร)} = (\text{ระยะทาง(เมตร)} (\text{ค่ามุม tangent ของมุมเงย BAC}) + \text{ความสูงของต้นไม้จากพื้นดินจนถึงระดับสายตาผู้สังเกต (เมตร)})$$

สมมติเจ้าหน้าที่ยืนระยะ 60 เมตรวัดยอดต้นไม้ มุมเงย BAC เท่ากับ 24° จากตารางค่ามุม tangent ของ 24° คือ 0.45 ดังนั้นความสูงของต้นไม้เป็น 60 เมตร คูณ 0.45 เท่ากับ 27 เมตร โดยเพิ่มความสูงของระดับสายตาของผู้สังเกตอีก 1.5 เมตร ความสูงของต้นไม้รวมเป็น 28.5 เมตร

2. การวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้แอปโคลิโมเตอร์

เจาะจงเลือกต้นไม้ยืนต้น มีความสูงมากกว่า 5 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 5 เซนติเมตร โดยใช้วิธีการคำนวณการกักเก็บและคำนวณการดูดซับปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ สำหรับการวัดมุมเพื่อหาความสูงของต้นไม้ จะต้องมองยอดของต้นไม้ผ่านขอบโทรศัพท์และอยู่ในระดับสายตาของผู้วัดพอดี แอปโคลิโมเตอร์จะปรากฏมุมที่ได้จากการมองยอดต้นไม้บนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ ถ้าทราบมุมเงยและระยะทางที่ห่างจากโคนต้นไม้จะสามารถคำนวณความสูงของวัตถุด้วยสมการอย่างง่ายได้

3. คำนวณหาปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้โดยใช้ฐานข้อมูลและสมการดังนี้

$$\text{ค่าชีวมวลของต้นไม้ } (W_t) = W_S + W_B + W_L \quad (1)$$

โดยที่ W_S คือ ค่าชีวมวลส่วนลำต้น

W_B คือ ค่าชีวมวลส่วนก้านและกิ่ง และ

W_L คือ ค่าชีวมวลส่วนที่เป็นใบ

ดังนั้น

$$\text{ปริมาณการดูดซับคาร์บอน} = W_t \times 0.5 \times 44/12 \quad (2)$$

โดยที่ 0.5 คือ คาร์บอนที่อยู่ในมวลต้นไม้
และ 44/12 คือ การดูดซับคาร์บอนของต้นไม้ต่อปี [8]

4. คำวนหาปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะ

4.1 สูตรการหาค่าสิ้นเปลืองพลังงาน[9]

$$\frac{\text{น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)} \times \text{ระยะทาง (กิโลเมตร)}}{\text{ระยะทางที่วิ่งได้ (กิโลเมตร)}} = \text{ค่าสิ้นเปลืองพลังงาน (กิโลคาร์บอน)} \quad (3)$$

4.2 สูตรการหาค่าการปลดปล่อยคาร์บอน

$$\frac{\text{ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร)}}{\text{ค่าการปลดปล่อย EFCF (กิโลคาร์บอน)}} = \frac{\text{ค่าสิ้นเปลืองพลังงาน}}{X} \quad (4)$$

โดยที่ EFCF คือ การปลดปล่อยคาร์บอนจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (กิโลกรัม)

X คือ ค่าการปลดปล่อยคาร์บอน (กิโลคาร์บอน)

4.3 จากกระบวนการดังกล่าว เมื่อนำค่าการปลดปล่อยคาร์บอนข้างต้นมาคิดรวมกับระยะทางคือ 110 เมตร จากปั๊ม-ลานจอดรถ และ 106 เมตร จากป้าย-ร้านค้าแฟ สามารถคำนวณได้ดังนี้ [10]

$$\text{การปลดปล่อยคาร์บอนจากยานพาหนะ (กิโลกรัม)} = \text{ค่าการปลดปล่อยคาร์บอน} \times \text{ระยะทาง (กิโลเมตร)} \quad (5)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยดำเนินการแบ่งต้นไม้ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ออกเป็น 4 โซน คือ A B C และ D โดยโซน A จะมี 94 ต้น โซน B จะมี 192 ต้น โซน C จะมี 145 ต้น และโซน D จะมี 149 ต้น รวมทั้งหมด 580 ต้น โดยผลการศึกษาการศึกษาการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

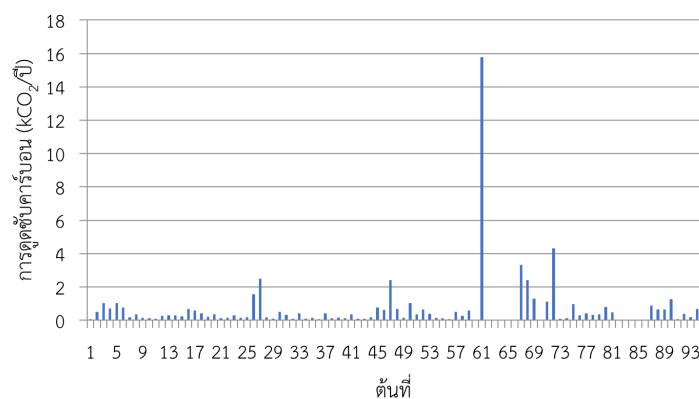
1. ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน A โดยครอบคลุมบริเวณอาคารสำนักงานจนถึงอาคารวิจัยใหม่ โดยมี ต้นอยู่ 94 ต้น ซึ่งปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้แต่ละต้นแสดงดังภาพที่ 3



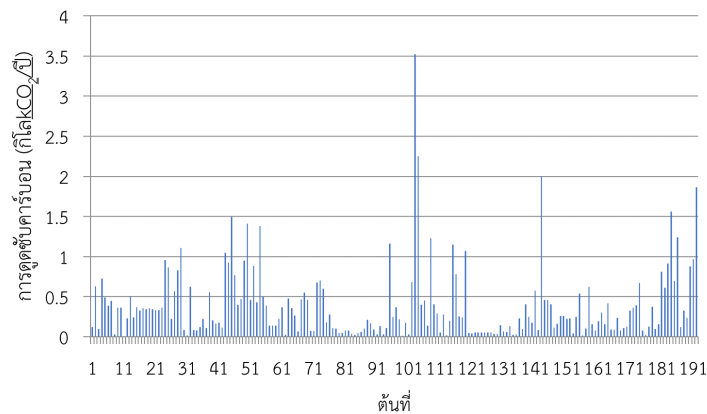
ภาพที่ 2: โซนแบ่งต้นไม้วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

จากภาพที่ 3 แสดงกราฟค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน A โดยต้นไม้ในโซน A จะมีค่าการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 0.66 กิโลกรัมคาร์บอนต่อปี จะสังเกตได้ว่าต้นไม้ที่ 60 มีค่าการดูดซับที่สูงกว่าต้นไม้ต้นอื่นซึ่งเป็นต้นไทร เนื่องจากเป็นต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่เป็นต้นไม้ที่มีอายุมาก มีกิ่งและใบที่แผ่ขยายทำให้มีค่าชีวมวลที่สูงมาก ในส่วนต้นไม้ต้นอื่นซึ่งเป็นต้นไม้พันธุ์ขนาดกลางที่ขึ้นตามธรรมชาติและต้นไม้ที่นำมาปลูกตกแต่งได้ไม่นานนักจึงมีค่าดูดซับใกล้เคียงกัน

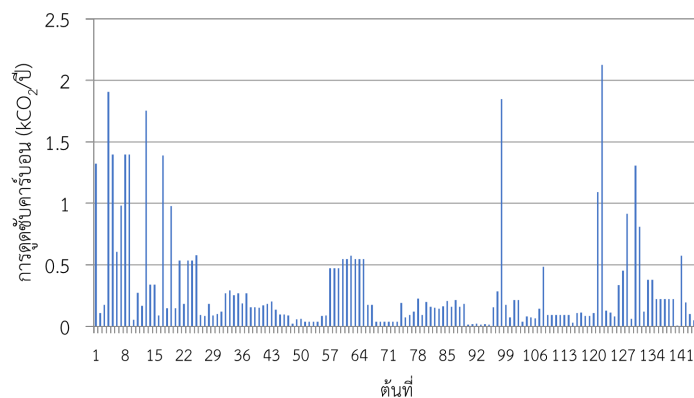
2. ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน B จะครอบคลุมบริเวณอาคารหลักไปจนถึงห้องแล็บและอาคารห้องประชุมสมาร์ตกริดเทคโนโลยี โดยมีต้นอยู่ 192 ต้น ซึ่งปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้แต่ละต้นแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3: ค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน A



ภาพที่ 4: กราฟแสดงค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน B



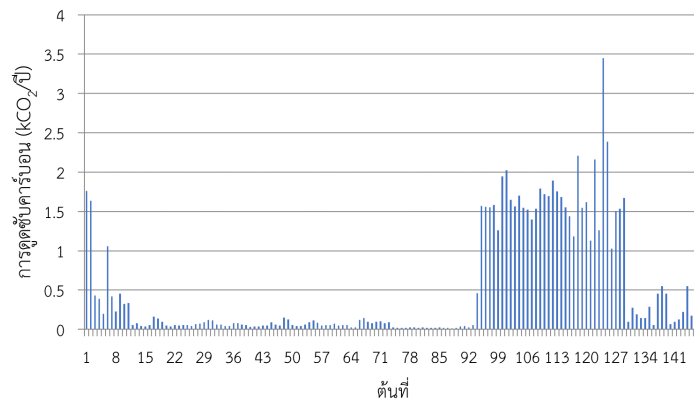
ภาพที่ 5: กราฟแสดงค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน C

จากกราฟต้นไม้ในโซน B จะมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 0.38 กิโลคาร์บอนต่อปี ต้นไม้ในโซนนี้มีการวางแผนในการปลูกต้นไม้อย่างชัดเจนจึงทำให้ค่าชีวมวลต้นไม้โซนนี้จะใกล้เคียงกัน โดยนำต้นไม้ที่เจริญเติบโตแล้วมาปลูกทดแทนเพื่อให้ร่มเงาต่ออาคาร เป็นโซนที่มีต้นไม้ที่หนาแน่นมากจะมีต้นไม้ไม่กี่ต้นที่ขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นต้นไม้ที่มีอายุมากแล้วจึงทำให้ค่าดูดซับแตกต่างจากต้นไม้ต้นอื่น

3. ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน C โดยที่โซน C ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมารถกริทดเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยนเรศวร ครอบคลุมบริเวณพิธีมิตคาเฟ่ไปจนถึงศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีต้นไม้ 145 ต้น ซึ่งปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้แต่ละต้นแสดงดังภาพที่ 5

จากกราฟต้นไม้ในโซน C จะมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 0.31 กิโลคาร์บอนต่อปี ต้นไม้ในโซนนี้จะเป็ต้นไม้ที่ปลูกไว้กลางแจ้ง ส่วนใหญ่แล้วจะขาดการดูแล จะมีต้นไม้ที่ใกล้บริเวณโซน B ที่ได้รับการดูแล ส่วนใหญ่ต้นไม้ที่ขาดการดูแลนั้นจะเป็นต้นลีลาวดีที่ตั้งใจปลูกตกแต่งข้างถนนฝั่งนอกถึงทำให้มีลำต้นขนาดเล็กที่มีค่าดูดซับน้อย

4. ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน D โดยที่โซน D ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมารถกริทดเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยนเรศวร ครอบคลุมบริเวณทางเข้าพิธีมิตคาเฟ่ไปจนถึงลานจอดรถของมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีต้นไม้อยู่



ภาพที่ 6: กราฟแสดงค่าดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของโซน D

ตารางที่ 1: การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาณการดูดซับ คาร์บอนไดออกไซด์ (kCO ₂ /ปี)	ทั้งหมด	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยที่สุด
ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ต้นไม้ดูดซับได้	257.240 (kCO ₂ /ปี)	15.780 (kCO ₂ /ปี)	0.005(kCO ₂ /ปี)

149 ต้น ซึ่งปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้แต่ละต้นแสดงดังภาพที่ 6

จากกราฟต้นไม้โซน D จะมีการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย 0.51 กิโลคาร์บอนต่อปี ต้นไม้ในโซนนี้จะมีค่าการดูดซับมากกว่าต้นไม้โซนอื่นๆ เพราะเป็นต้นไม้พันธุ์ใหญ่ คือต้นฉำฉา ที่ปลูกไว้ข้างถนนโดยมหาวิทยาลัยเป็นเวลานานแล้วเป็นจำนวนหลายต้นจึงมีการดูดซับมากเป็นพิเศษ ในส่วนของต้นไม้ต้นอื่นๆจะเป็นพันธุ์ไม้ต้นเล็กๆที่เพิ่งเจริญเติบโตเนื่องจากบริเวณนั้นเป็นที่โล่งแจ้ง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

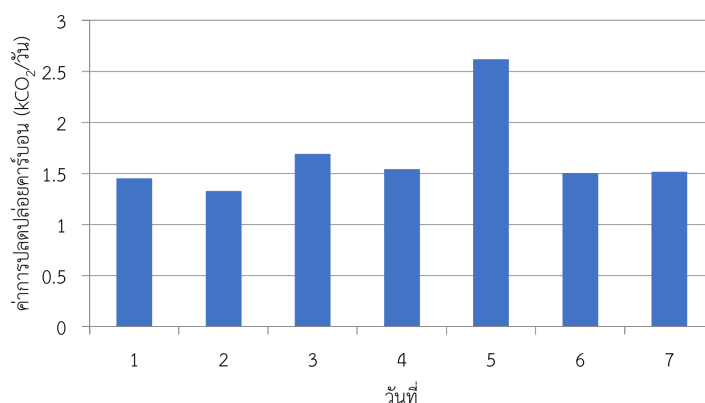
ต้นไม้ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรจะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 257.240 กิโลคาร์บอนต่อปี (kCO₂/ปี) โดยต้นไม้ที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นไม้ดูดซับได้มากที่สุดคือ 15.780 (kCO₂/ปี) และต้นไม้ที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นไม้ดูดซับได้น้อยที่สุดคือ 0.005 (kCO₂/ปี) ตามลำดับ

การวิเคราะห์ข้อมูลการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะที่เข้ามาในบริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ด้านหน้ามีระยะทาง 110 เมตร และด้านหลังมี 106 เมตรแสดงดังตารางที่ 2

จากการเก็บข้อมูลจะเห็นว่าในแต่ละวันบุคลากรในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี ใช้รถ

ตารางที่ 2: ตารางการใช้นานพาหนะภายในวิทยาลัย

วันที่	ชนิดยานพาหนะ(หน้า)			ชนิดยานพาหนะ(หลัง)			รวม
	กระบะ	เก๋ง	จักรยานยนต์	กระบะ	เก๋ง	จักรยานยนต์	
1	0	16	21	0	0	19	56
2	5	14	30	0	0	14	63
3	5	21	23	0	2	15	66
4	2	19	20	0	0	19	60
5	11	19	28	3	4	11	76
6	5	20	26	0	0	16	67
7	2	22	24	0	0	13	61



ภาพที่ 7: กราฟแสดงค่าปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะ

เก๋งเป็นหลักเฉลี่ยประมาณ 18 คัน ลำดับถัดมาคือ จักรยานยนต์เฉลี่ยประมาณ 15 คัน และใช้รถกระบะ เฉลี่ยประมาณ 5 คัน ตามลำดับ

จากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากยานพาหนะเฉลี่ยในแต่ละวันเฉลี่ย 1.66 กิโลคาร์บอน โดยมีวันที่ 5 มีปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะมากที่สุดเท่ากับ 2.62 กิโลคาร์บอน และมีวันที่ 2 มีปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะมากที่สุดเท่ากับ 1.33 กิโลคาร์บอน ดังนั้นในหนึ่งปีจะมีปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะประมาณ 435 กิโลคาร์บอนต่อปี

สรุปผลการวิจัย

ต้นไม้ในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรมีจำนวนรวมทั้งหมด 580

ตารางที่ 3: การคำนวณการปลดปล่อยคาร์บอนของยานพาหนะ

ชนิดรถ	ป้อม-ลานจอดรถ	ป้าย-ร้านค้าแฟ
กระบะ	0.027 kCO ₂ /วัน	0.247 kCO ₂ /วัน
เก๋ง	0.013 kCO ₂ /วัน	0.125 kCO ₂ /วัน
จักรยานยนต์	0.006 kCO ₂ /วัน	0.057 kCO ₂ /วัน

ต้น แบ่งเป็น 4 โซน คือ A B C และ D โดยโซน A จะมี 94 ต้น โซน B จะมี 192 ต้น โซน C จะมี 145 ต้น โซน D จะมี 149 ต้น ตามลำดับ จากการวิจัยพบว่า โซนที่มีการดูดซับคาร์บอนได้มากที่สุดคือโซน A เนื่องจากมีไม้ยืนต้นจำนวนมากโดยส่วนใหญ่เป็นต้นไม้ที่มีอายุลำต้นสูงใหญ่ ซึ่งมีค่าดูดซับที่ 0.66 กิโลคาร์บอนต่อปี และโซนที่มีการดูดซับคาร์บอนได้น้อยที่สุดคือโซน C ซึ่งเป็นต้นไม้ที่ขาดการดูแลจึงให้เจริญเติบโตได้ช้าและต้นเล็กกว่าโซนอื่นๆ โดยมีค่าดูดซับที่ 0.31 กิโลคาร์บอนต่อปี และต้นไม้ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวรจะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 257.240 กิโลคาร์บอนต่อปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นไม้ในแต่ละต้นมีค่าดูดซับที่แตกต่างกันตามขนาดและความสูงของต้นไม้การหาค่าการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้พบว่า การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของยานพาหนะที่เก็บข้อมูลเป็นเวลา 7 วัน พบว่า มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งหมด 11.66 กิโลคาร์บอน เฉลี่ยวันละ 1.66 กิโลคาร์บอน คิดเป็น 435.01 กิโลคาร์บอนต่อปี ซึ่งการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้สามารถดูดซับคาร์บอนได้ 59% ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากยานพาหนะ โดยค่าความต่างระหว่างการดูดซับและการปลดปล่อยคือ 177.77 กิโลคาร์บอนต่อปี อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ค้นพบว่า การดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของในวิทยาลัยพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยียังไม่เพียงพอกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากยานพาหนะของบุคลากรที่ทำงานในองค์กร ดังนั้น วิทยาลัยพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร จะต้องมีการปรับปรุงนโยบายพื้นที่สีเขียวในวิทยาลัยมากยิ่งขึ้นเพื่อให้การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ และการดูดซับคาร์บอนนั้น สมดุลกันในอนาคต และเป็นพื้นที่ทำงานสีเขียวอย่างแท้จริง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัญญา กันฉิ่ง และคณะ. (2559). “การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ ป่าชุมชนห้วยข้าวกล้า อำเภोजุน จังหวัดพะเยา วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา”, ในการประชุมวิชาการการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 3 ประจำปี 2559, วันที่ 15-17 มิถุนายน 2559 ณ โรงแรมดิอิมเพรส น่าน, จังหวัดน่าน.

- [2] ถิรายุ เกลี้ยงสอาด, ลดาวัลย์ พวงจิตร และวาทีณี สนวนผกา. (2563). การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในสวนสันติภาพ กรุงเทพมหานคร. วารสารวนศาสตร์ไทย. 39(1), 86-96.
- [3] ปรัชญา แผ้ว พล สง และ เศรษฐ์ หิรัญ นาค สุข. (2561). การ กัก เก็บ คาร์บอน ของ ต้นไม้ ใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.บทความวิจัย วิทยาศาสตร์บัณฑิต. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] วสันต์ จันทร์แดงและคณะ. (2560). การกักเก็บคาร์บอนและการประเมินผลประโยชน์ร่วมของพื้นที่ป่าอนุรักษ์และป่าเศรษฐกิจ ณ สถานีวิจัยและฝักนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา. รายงานการวิจัย คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] วสันต์ จันทร์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์. (2553). การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น. วนศาสตร์. 29(3), 36-44.
- [6] วิจารย์ มีผล. (2553). การเก็บกักคาร์บอนของป่าชายเลน บริเวณพื้นที่สงวนชีวมณฑลระนอง. วารสารการจัดการป่าไม้. 4(7), 29-44.
- [7] สมชาย นองเนื่อง, สุนทร คำยอง, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และนิติ อนงค์รักษ์. (2555). การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนสามใบ หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวนศาสตร์. 31 (2), 1-15.
- [8] สถาบัน ลูกลอก สี เขียว. (ม.ป.ป.). การ กัก เก็บ คาร์บอน สืบค้น เมื่อ15 กุมภาพันธ์ 2565 จาก <https://www.greenglobeinstitute.com/Upload/CarbonCreditReference/Carbonrement>
- [9] วิชญ์ ผลโพธิ์. (2559). คู่มือการจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับเมือง องค์การบริหาร จัดการก๊าซ เรือนกระจก (องค์การมหาชน)
- [10] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ม.ป.ป.). แบบฟอร์มการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก สืบค้นเมื่อ15 กุมภาพันธ์ 2565 สืบค้นได้ จาก <https://www.lib.ku.ac.th/kugreenlibrary/images/download/f02.xls>

การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดี อิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน

The Influence of Online Customer Relationship Management on Electronic Loyalty: Mediating Effect of Service Quality of Smart Brain Institute

ยุพาเวดี อุทตสิงห์*, แสงทอง บุญยั้ง

บริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ พรหมนครศรีอยุธยา ประเทศไทย 13000

Yupawadee Uttasing *, Sangthong Boonying

Business Administration, Faculty of Business Administration and Information Technology,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand 13000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ คุณภาพการบริการ และความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ 2) การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ 3) การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อคุณภาพการบริการ 4) คุณภาพการบริการที่ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ 5) การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ผู้ปกครองที่ใช้บริการกับสถาบัน สมาร์ท เบรน จำนวน 380 ตัวอย่าง โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวิจัย สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบสมมติฐานด้วยการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling : SEM)

* Corresponding author : yupawadeeutasing@gmail.com

ผลการวิจัย พบว่า 1) ระดับความคิดเห็นต่อการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด คุณภาพการบริการ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด และความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด 2) การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ 3) การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อคุณภาพการบริการ 4) คุณภาพการบริการส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ 5) คุณภาพการบริการ เป็นตัวแปรส่งผ่านในความสัมพันธ์ระหว่างการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์และความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้บริหาร สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนและกำหนดกลยุทธ์การบริหารลูกค้าสัมพันธ์เพื่อพัฒนาคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน และการบริการที่ตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี รวมถึงสถาบันกวดวิชาอื่น ๆ สามารถนำผลการวิจัยไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการบริหารจัดการธุรกิจ เพื่อให้เกิดการบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์, คุณภาพการบริการ, ความภักดีอิเล็กทรอนิกส์

Abstract

The purposes of the research were to study as follows. 1) The level of customer opinions toward online customer relationship management, service quality and electronic loyalty of Smart Brain Institute. 2) Online customer relationship management affects electronic loyalty. 3) Online customer relationship management affects service quality. 4) Service Quality affects electronic loyalty. 5) Online customer relationship management affects electronic loyalty toward the service quality of Smart Brain Institute. The sample group were 380 parents who consumed the service of Smart Brain Institute. The research instrument was a questionnaire. The statistics used to analyze data were percentage, mean, standard deviation, and the structural equation model techniques (Structural Equation Modeling: SEM) for data analysis.

The study found the following. 1) The level of customers' opinions toward online customer relationship management, service quality, and electronic loyalty was highly appreciated. 2) Online customer relationship management positively affects electronic loyalty. 3) Online customer relationship management positively affects service quality. 4) The service quality positively affects electronic loyalty. 5) Service quality is a passing variable in the relationship between online customer relationship management and electronic loyalty at a significant level of .01. The study results will benefit executives to apply in planning and formulate customer relationship management strategies to develop the service quality of Smart Brain institute and services that meet customers' needs. Besides, other tutoring institutes can use the findings to improve and develop business management to achieve effective management.

Keywords : online customer relationship management, service quality, electronic loyalty

ที่มาและความสำคัญ

การศึกษามีความสำคัญตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การศึกษาเป็นกระบวนการสำคัญในการพัฒนาคนให้มีคุณภาพ ให้มีความสามารถที่จะปรับตัวได้อย่างรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลง ในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อการใช้ชีวิตและเกิดการเปลี่ยนรูปแบบการใช้ชีวิตและพฤติกรรมรูปแบบใหม่ จากความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้หน่วยงานของภาครัฐบาล เอกชน และองค์กรหลายภาคส่วนต้องพึ่งพาเทคโนโลยีเป็นสำคัญ และยิ่งไปกว่านั้นการศึกษาซึ่งถือเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ ทำให้เด็กไทยในยุคนี้ถูกผลักดันให้ต้องเข้าสู่ยุคดิจิทัล 4.0 เร็วขึ้น อีกทั้งวิธีการสื่อสารทางสังคมเป็นรูปแบบออนไลน์เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ประกอบการหันมาขยายฐานลูกค้าหรือเปลี่ยนรูปแบบธุรกิจ โดยผ่านช่องทางออนไลน์ที่เป็นแพลตฟอร์มอื่น ๆ เพิ่มขึ้น ได้แก่ ไลน์ เฟซบุ๊ก เว็บไซต์ ที่ลูกค้าในปัจจุบันสามารถเข้าถึงจำนวนมาก [1] ซึ่งผู้ประกอบการได้นำรูปแบบการพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจมากขึ้นโดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 [2]

จากความสำคัญของการศึกษา ทำให้พ่อแม่ผู้ปกครองต่างต้องการให้บุตรหลานเป็นคนที่มีความรู้มากขึ้น ทั้งด้านความฉลาดทางปัญญา ทางอารมณ์ และความคิดสร้างสรรค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีสถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (โควิด - 19) [3] ผู้ปกครองยังแสวงหาหลักสูตร สถาบัน หรือสถานที่สำคัญเพื่อเก็บเกี่ยวความรู้ต่าง ๆ แก่บุตรหลาน ซึ่งโรงเรียนกวดวิชาเป็นโรงเรียนเอกชนนอกระบบประเภทหนึ่งตามพระราชบัญญัติ โรงเรียนเอกชน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2554 โรงเรียนเอกชนหรือโรงเรียนกวดวิชาจึงหันมาให้ความสำคัญต่อการรักษาฐานลูกค้าเก่าและหาลูกค้าใหม่ เพื่อสร้างความภักดีของผู้ปกครองซึ่งจะนำไปสู่ความสัมพันธ์ในระยะยาว โดยนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาช่วยเพิ่มช่องทางในการดำเนินงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น อีกทั้งยังช่วยเสริมสร้างคุณภาพการบริการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ปกครองให้เกิดความประทับใจและนำไปสู่ความจงรักภักดีต่อการใช้บริการผ่านคุณภาพการบริการ ภายใต้สถานการณ์การระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

สถาบัน สมาร์ท เบรน เป็นสถาบันกวดวิชาที่มีจำนวนมากถึง 475 สาขาทั่วประเทศ เล็งเห็นถึงความสำคัญของการศึกษา ซึ่งเป็นสถาบันที่เน้นหลักสูตรพัฒนาสมองทั้งสองฝั่งให้ทำงานประสานกันอย่างมีระบบ เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงและความต้องการของผู้ปกครอง สถาบันจึงหันมาใส่ใจกับการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างครูกับผู้ปกครองที่มาใช้บริการเพื่อให้เกิดความภักดีของผู้ปกครองในระยะยาว โดยนำสื่อสังคมออนไลน์มาเป็นเครื่องมือในการให้บริการข้อมูลข่าวสาร การประชาสัมพันธ์ และการติดต่อสื่อสาร รวมถึงการแจ้งสิทธิพิเศษ ส่วนลด และโปรโมชั่นต่าง ๆ เพื่อให้สามารถตอบสนองการบริการแก่ผู้ปกครองที่มีความรู้ สามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วมากขึ้นก่อนการซื้อสินค้าหรือบริการ ช่วยสนับสนุนและส่งเสริมคุณภาพการบริการของสถาบัน ให้สามารถตอบสนองตามความต้องการและสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ปกครองที่มาใช้บริการ จึงจะทำให้เกิดความภักดีต่อสินค้าหรือการบริการอย่างต่อเนื่องได้ [4]

จากแนวคิดข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ของสถาบัน สมาร์ท เบรน เพื่อเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพการบริการของสถาบันแก่ผู้ที่มาใช้บริการกับสถาบันได้ โดยใช้เทคโนโลยีผ่านสื่อสังคมออนไลน์มาช่วยให้การดำเนินงานได้ง่ายและสะดวกรวดเร็วมากขึ้น รวมถึงช่วย

สนับสนุนคุณภาพการบริการของสถาบันให้ดียิ่งขึ้น เมื่อสถาบันมีความสัมพันธ์อันดีกับผู้มาใช้บริการจนเกิดความภักดีทางอิเล็กทรอนิกส์ มีพฤติกรรมการซื้อซ้ำในคอร์สต่อไปและสื่อสารปากต่อปากผ่านทางสื่อสังคมออนไลน์ให้กับบุคคลที่รู้จักอีกด้วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยในครั้งนี้จะนำข้อมูลนี้ไปเสนอต่อคณะผู้บริหารใช้ประกอบการตัดสินใจ วางแผนกลยุทธ์ กำหนดนโยบายเพื่อพัฒนาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์และคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน ให้ตรงต่อความต้องการของลูกค้าจนเกิดความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ต่อสถาบัน สมาร์ท เบรน ในระยะยาวต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

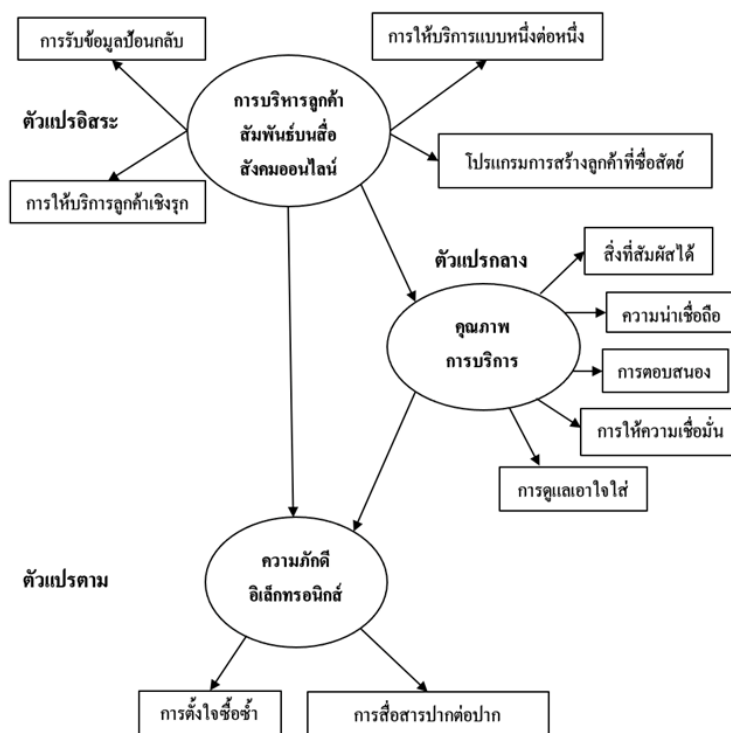
1. เพื่อศึกษาระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์คุณภาพการบริการและความภักดีอิเล็กทรอนิกส์
2. เพื่อศึกษาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์
3. เพื่อศึกษาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อคุณภาพการบริการ
4. เพื่อศึกษาคุณภาพการบริการส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์
5. เพื่อศึกษาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน

สมมติฐาน

- สมมติฐานที่ 1 การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์
- สมมติฐานที่ 2 การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อคุณภาพการบริการ
- สมมติฐานที่ 3 คุณภาพการบริการส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์
- สมมติฐานที่ 4 การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน ที่อธิบายด้านต่าง ๆ ที่มีผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ของสถาบัน สมาร์ท เบรน ได้แก่ 1. การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ 2. คุณภาพการบริการ 3. ความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1: กรอบแนวคิดในการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ปกครองที่ใช้บริการกับสถาบัน สมาร์ท เบรน ซึ่งทราบจำนวนแน่นอน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ผู้ปกครองที่ใช้บริการกับสถาบัน สมาร์ท เบรน จำนวน 13 จังหวัด แล้วทำการเลือกจังหวัดที่จะใช้เป็นพื้นที่เก็บข้อมูลร้อยละ 50 จำนวน 7 จังหวัด โดยการจับสลาก ซึ่งได้แก่ กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดนนทบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดนครปฐม จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดสมุทรสาคร จากนั้นทำการเลือกสาขาที่อยู่ในอำเภอเมืองและสาขาที่มีจำนวนนักเรียนมาก จำนวน 7 สาขา ได้แก่ สาขาพัฒนาการ 30 สาขากิ่งแก้ว สาขาบางบัวทอง สาขาปรางค์บุรี สาขาเมืองนครปฐม สาขาสาย 1 อยุธยา และสาขาพันท้ายนรสิงห์ และทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างตามสัดส่วน โดยอ้างอิงสูตรการคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างในกรณีที่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอนของ Yamane (1970) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 380 ตัวอย่าง

วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีวิจัยมีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถามออนไลน์ โดยทดสอบคุณภาพของเครื่องมือด้วยวิธีการตรวจ

สอบความตรงด้านเนื้อหา โดยนำแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้นส่งให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวิจัย (IOC) ของข้อคำถามทั้ง 44 ข้อคำถาม มีคะแนน IOC อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ได้ [5] หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่แก้ไขตามผู้เชี่ยวชาญไปทดสอบใช้ (Try Out) กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน แล้วนำมาหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์อัลฟา (Alpha-Coefficient) ตามวิธีของครอนบาค (Cronbach) [5] พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของแบบสอบถามอยู่ระหว่าง 0.75 – 0.91 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.70 ถือว่าแบบสอบถามมีความเชื่อมั่นในระดับสูง สามารถใช้เก็บรวบรวมข้อมูลแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เพื่อสำรวจข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ โดย 14 ข้อ

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพการบริการ โดยมี 25 ข้อ

ส่วนที่ 4 แบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ โดยมี 5 ข้อ

ส่วนที่ 5 ข้อเสนอแนะซึ่งมีลักษณะเป็นแบบสอบถามปลายเปิด

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยแบบสอบถามออนไลน์ จำนวน 1 ฉบับ ให้กับกลุ่มตัวอย่างที่ได้ดำเนินการกำหนดไว้ ทำการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม 2564 - มกราคม 2565 รวมระยะเวลา 2 เดือน ผู้วิจัยจะทำการตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติเชิงบรรยาย (Descriptive Statistics) ใช้ในการวิเคราะห์ความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage)

สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ใช้การวิเคราะห์สมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling : SEM) โดยการวิเคราะห์เส้นทาง (Path Analysis)

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ระดับความคิดเห็นการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ คุณภาพการบริการ และความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคม โดยผู้มาใช้บริการมีความคิดเห็นต่อการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์อยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนค่าเฉลี่ยคือ 4.56 ระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพการให้บริการ โดยลูกค้ามีความคิดเห็นต่อคุณภาพการบริการอยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนค่าเฉลี่ยคือ 4.61 และระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัย พบว่า ความภักดีอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนค่าเฉลี่ยคือ 4.68

ตารางที่ 1: แสดงผลการทดสอบความเที่ยงของมาตรวัด

มิติหรือตัวแปร	จำนวน ตัวชี้วัด	ตัวชี้วัด	Corrected Item – Total Correlation	ค่าสัมประสิทธิ์	
				แอลฟา ถ้าตัวชี้วัด ถูกตัดทิ้ง	ค่าสัมประสิทธิ์ แอลฟา
การบริหารลูกค้า สัมพันธ์บนสื่อสังคม ออนไลน์	4	1. การรับข้อมูลย้อนกลับ	0.779	0.616	0.867
		2. การให้บริการลูกค้า เชิงรุก	0.788	0.628	0.861
		3. การให้บริการแบบ	0.764	0.590	0.871
		4. โปรแกรมการสร้าง ลูกค้าที่ซื้อสตั๊ด	0.774	0.603	0.869
การบริหารลูกค้า	5	1. สิ่งสัมผัสได้	0.799	0.649	0.942
		2. ความน่าเชื่อถือ	0.863	0.748	0.930
		3. การตอบสนอง	0.872	0.763	0.928
		4. การให้ความเชื่อมั่น	0.866	0.762	0.929
		5. การดูแลเอาใจใส่	0.853	0.737	0.932
ความภักดี อิเล็กทรอนิกส์	2	1. การตั้งใจซื้อซ้ำ	0.834	0.724	0.949
		2. การสื่อสาร ปากต่อปาก	0.785	0.689	0.951

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยการวิเคราะห์ค่าความเที่ยง (Reliability) และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสังเกตได้ (Correlation) ดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลของค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา ของทุกตัวแปรมีค่าผ่านเกณฑ์ทุกค่า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา มีค่าที่ระดับมากกว่า 0.70 [7] และค่า Corrected Item – Total Correlation เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อคำถามแต่ละข้อกับคะแนนรวมของตัวแปร มีค่าที่ระดับมากกว่า 0.30 [8]

3. การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติของข้อมูลในการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling) ประกอบด้วย

3.1 การตรวจสอบลักษณะการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normality)

โดยการตรวจสอบแผนภาพที่ Normal Q – Q Plot ของแต่ละตัวแปร พบว่า ส่วนใหญ่ได้เส้นตรงในแนวทแยง ตัวแปรมีลักษณะการแจกแจงแบบโค้งปกติ [6], [7]

3.2 การวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ของการกระจาย (Homoscedasticity)

ตารางที่ 2: แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันตัวแปร

ตัวแปร	Factor			R^2
	β	SE	t	
การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์				
การรับข้อมูลย้อนกลับ	0.82	0.05	18.42	0.83
การให้บริการลูกค้าเชิงรุก	0.88	0.06	18.02	1.00
การให้บริการลูกค้าแบบหนึ่งต่อหนึ่ง	0.85	0.05	17.22	0.86
โปรแกรมการสร้างลูกค้าที่ซื้อสัตย์	0.81	0.00	18.00	1.00
คุณภาพการบริการ				
สิ่งที่สัมผัสได้	0.82	0.05	20.10	0.66
ความน่าเชื่อถือ	0.89	0.05	21.12	0.80
การตอบสนอง	0.89	0.05	23.11	0.80
การให้ความเชื่อมั่น	0.91	0.05	21.56	0.82
การดูแลเอาใจใส่	0.89	0.05	21.00	0.79
ความภาคภูมิใจเล็กน้อย				
การตั้งใจซื้อซ้ำ	0.91	0.00	2.58	0.83
การสื่อสารปากต่อปาก	0.84	0.00	2.58	0.71

หมายเหตุ: $|t| > 1.96$ หมายถึง $p < 0.05$; $|t| > 2.58$ หมายถึง $p < 0.01$

โดยการสร้างแผนภาพที่กระจายกระจาย ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเศษที่เหลือมาตรฐาน (Standardized Residual) กับค่าพยากรณ์มาตรฐาน (Standardized Predicted) เพื่อตรวจสอบความเป็นเอกพันธ์ของการกระจาย [9] โดยพิจารณาจากค่า Standardized Residual สรุปได้ว่า มีเอกพันธ์ของการกระจาย [7] โดยไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมีแบบแผน

3.3 การตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม (Linearity)

โดยการตรวจสอบแผนภาพที่กระจายกระจายและการวิเคราะห์เศษที่เหลือ (Residual Analysis) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเศษที่เหลือ (Standardized Residual) กับตัวแปรอิสระแต่ละตัวเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปร [6], [10] จากแผนภาพที่กระจายกระจาย พบว่า ค่าเศษที่เหลือมีการกระจายอย่างไม่มีแบบแผน โดยไม่พบว่าค่าเศษที่เหลือมีรูปแบบแนวโน้มไปในทางมากขึ้นหรือลดลงอย่างมีแบบแผน สรุปได้ว่า ข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

3.4 การตรวจสอบภาวะร่วมเส้นตรงพหุ (Multicollinearity)

วิธีการตรวจสอบภาวะร่วมเส้นตรงพหุ ทำได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติวิเคราะห์ตรวจสอบค่าสถิติ 3 ตัว [6] คือ (1) Tolerance ควรมีค่ามากกว่า 0.10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ตัวแปรอิสระทุกตัวไม่เข้าใกล้ 0 โดย

ตารางที่ 3: แสดงการวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้องกลมกลืนของโมเดลรวม

ดัชนีความกลมกลืน	เกณฑ์	ค่าดัชนีที่วัดได้	ผลการพิจารณา
χ^2/df	< 2.00	1.852	ผ่านเกณฑ์
GFI	≥ 0.95	0.967	ผ่านเกณฑ์
AGFI	≥ 0.90	0.945	ผ่านเกณฑ์
RMSEA	< 0.05	0.047	ผ่านเกณฑ์
NFI	≥ 0.90	0.981	ผ่านเกณฑ์
RMR	< 0.05	0.003	ผ่านเกณฑ์
CFI	≥ 0.90	0.991	ผ่านเกณฑ์
SRMR	< 0.05	0.025	ผ่านเกณฑ์

มีค่ามากกว่า 0.10 (2) Variance Inflation Factor (VIF) ควรมีค่าน้อยกว่า 10 พบว่า ตัวแปรอิสระทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 10 และ (3) Condition Index ควรมีค่าน้อยกว่า 30 และหาก Condition Index มีค่ามากกว่า 30 ให้พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระควรมีค่าน้อยกว่า 90 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ทุกค่ามีค่ามากกว่า 30 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ จึงต้องพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ผลพบว่า ทุกคู่มีค่าน้อยกว่า 90 สรุปได้ว่า ตัวแปรอิสระทุกตัวเป็นอิสระจากกัน และไม่มีภาวะร่วมเส้นตรงพหุสมารถนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อหาพยากรณ์ได้

4. การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis) เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct Validity) ดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการวิเคราะห์โมเดลการวัด (Measurement Model) โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ คุณภาพการบริการ และความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า โมเดลสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หลังจากปรับโมเดล โดยไม่มีการตัดตัวชี้วัดใด ๆ ออกจากโมเดลการวัดค่าน้ำหนักองค์ประกอบทุกค่าผ่านเกณฑ์ คือ มีค่ามากกว่า 0.30

5. การวิเคราะห์เส้นทางอิทธิพลและผลการทดสอบสมมติฐาน โดยทำการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ทำการเปรียบเทียบค่าสถิติความสอดคล้องของโมเดลกับข้อมูลเชิงประจักษ์ระหว่างโมเดลที่สร้างตามสมมติฐาน (Hypothesized Model) และโมเดลที่ปรับเปลี่ยน (Modified Model) เมื่อนำผลการวิเคราะห์ทั้งสองโมเดลมาเปรียบเทียบกัน พบว่า หลังจากปรับโมเดลตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์สถิติด้วยโปรแกรม AMOS (Analysis of Moment Structure) ซึ่งยอมให้ความคลาดเคลื่อน (Error Variance) มีความสัมพันธ์กันได้ [6] ส่งผลให้โมเดลที่ได้รับการปรับใหม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการทดสอบสมมติฐานจากโมเดลที่ปรับแล้ว โดยการวิเคราะห์อิทธิพลทางตรงอิทธิพลทางอ้อมและอิทธิพลรวมระหว่างตัวแปรแฝงต่าง ๆ ของโมเดลประสิทธิผลของการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4: ผลการวิเคราะห์เส้นทางโมเดลสมการโครงสร้างตามสมมติฐานโมเดลรวม

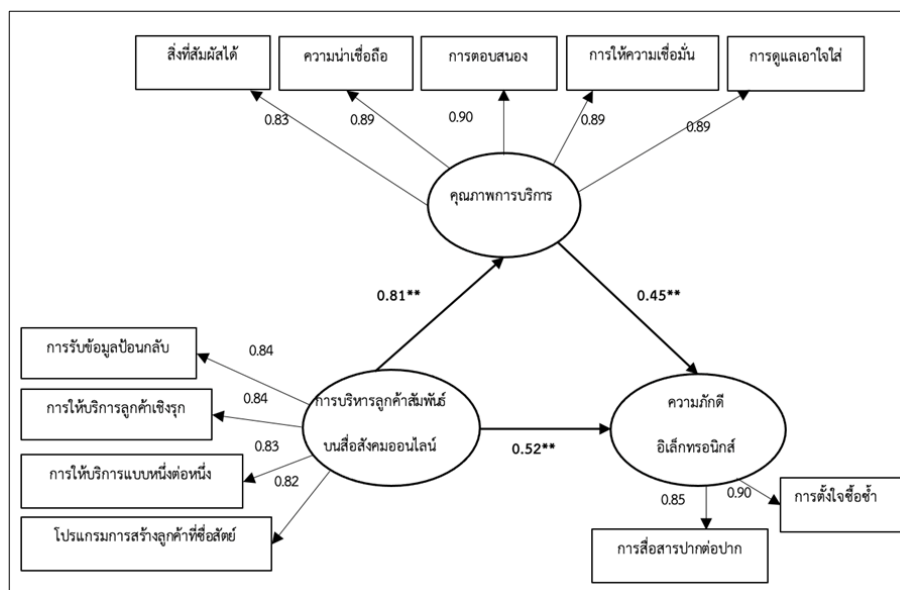
ตัวแปรตาม ตัวแปรต้น	คุณภาพการบริการ			ความภักดีอิเล็กทรอนิกส์		
	TE	DE	IE	TE	DE	IE
การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์	0.81**	0.81**	-	0.89**	0.52**	0.37**
คุณภาพการบริการ	(0.04)	(0.04)	-	(0.07)	(0.06)	(0.07)
			-	0.45**	0.45**	
			-	(0.07)	(0.07)	-

$\chi^2 = 74.063$, $df = 40$, $\chi^2/2 = 1.852$, $p - \text{value} = 0.100$, $GFI = 0.967$, $AGFI = 0.945$,
 $RMSEA = 0.047$, $NFI = 0.981$, $RMR = 0.003$, $CFI = 0.991$, $SRMR = 0.001$

หมายเหตุ $p * < 0.05$, $p ** < 0.01$ อิทธิพลรวม (TE) อิทธิพลทางตรง (DE) และอิทธิพลทางอ้อม (IE)

จากตารางที่ 4 พบว่า การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์มีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกต่อคุณภาพการบริการและความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ และยังมีคุณภาพการบริการมีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ มีอิทธิพลทางอ้อมเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์

จากตารางที่ 3 พบว่า ความภักดีอิเล็กทรอนิกส์มีอิทธิพลรวมมากที่สุดจากการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($\beta=0.89$, $p<0.01$) และคุณภาพการบริการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($\beta=0.45$, $p<0.01$) ส่วนในการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ได้รับอิทธิพลทางตรงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ($\beta=0.81$, $p<0.01$)



ภาพที่ 2: แสดงโมเดลสมการโครงสร้างหลังการปรับแสดงการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรน

สรุปผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัย

วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษาระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ คุณภาพการบริการและความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ปัจจัยทุกตัวแปรมีระดับความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด

วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษาระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ คุณภาพการบริการและความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ พบว่า ปัจจัยทุกตัวแปรมีระดับความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อศึกษาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัย พบว่า การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ ผู้ปกครองที่มาใช้บริการกับสถาบันมีความรู้ดีกว่าสถาบันสามารถนำสื่อสังคมออนไลน์มาใช้สร้างความเข้าใจ รับฟังความคิดเห็น และแก้ไขปัญหาให้กับผู้ปกครองอย่างทัน่วงทีโดยเฉพาะในช่วงสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้ผู้ปกครองที่ใช้บริการทางสื่อสังคมออนไลน์มีทัศนคติที่ดีระหว่างครูกับผู้ปกครอง จนเกิดความประทับใจและความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการซื้อคอร์สเรียนในระดับที่สูงขึ้นต่อไป รวมถึงบอกปากต่อปากผ่านสื่อสังคมออนไลน์ด้วยการกดไลก์ กดแชร์ ให้กับทางสถาบันด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทัศนภรณ์ อธิพงษ์พิพัฒน์ [11] ได้ทำการศึกษาเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์และคุณค่าตราสินค้าของผู้บริโภคต่อธุรกิจเครื่องสำอางนำเข้าจากประเทศเกาหลี ผลการวิจัย พบว่า การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์มีความสัมพันธ์กับคุณค่าตราสินค้าทั้ง 4 ด้าน โดยด้านความจงรักภักดีต่อตราสินค้าของผู้บริโภคต่อแบรนด์ลานาอยู่ในระดับค่อนข้างสูง

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อศึกษาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อคุณภาพการบริการ ผลการวิจัย พบว่า การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ที่ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อคุณภาพการบริการ ทั้งนี้ ผู้ปกครองที่มาใช้บริการรู้สึกว่าจะสามารถติดต่อสื่อสารกับสถาบันได้หลายช่องทาง สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย ทำให้สะดวกรวดเร็วในการติดต่อกับครูผู้สอนเมื่อผู้ปกครองนำเสนอข้อคิดเห็นผ่านกล่องข้อความของเฟซบุ๊ก หรือส่งข้อความโดยตรงผ่านไลน์ครูมีความกระตือรือร้น สามารถช่วยแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วด้วยความเต็มใจในการให้บริการต่อผู้มาใช้บริการทางสื่อสังคมออนไลน์ ทำให้สามารถตอบสนองตรงต่อความต้องการของผู้ใช้บริการและสร้างความประทับใจต่อผู้มาใช้บริการได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกุลยา อุปพงษ์ และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาเรื่อง อิทธิพลของการจัดการลูกค้าสัมพันธ์ทางสื่อสังคมต่อผลประโยชน์ทางการเงิน: หลักฐานเชิงประจักษ์ธุรกิจสปาในประเทศไทย ผลการศึกษา พบว่า ผู้ประกอบการธุรกิจสปาที่มีการใช้ SM CRM ทั้งด้านการตลาด ด้านการขายหรือด้านการบริการ มีอิทธิพลทางตรงและทางอ้อมต่อผลประโยชน์ทางการเงินเพิ่ม และได้เสนอแนะเชิงปฏิบัติ กล่าวโดยสรุปไว้ว่า ผู้ประกอบการสามารถอาศัยช่องทางสื่อสังคมในการให้บริการลูกค้า ไม่ว่าจะเป็นปัญหาหรือคำถามที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ เช่น การนัดหมาย การตอบปัญหา ฯลฯ แม้กระทั่งลูกค้าสอบถามรายละเอียดของสินค้าและบริการ การแสดงความคิดเห็น โดยธุรกิจจะต้องมีการตอบกลับเพื่อให้เห็นถึงความเอาใจใส่และเป็นการเพิ่มปฏิสัมพันธ์กับกลุ่มเป้าหมายมากขึ้น

วัตถุประสงค์ที่ 4 คุณภาพการบริการส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ผลการวิจัย พบว่า

คุณภาพการบริการส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ ผู้ปกครองที่มาใช้บริการรู้สึกว่าจะทางสถาบันสามารถตอบสนองตามความต้องการได้อย่างทันทั่วทั้งที่มีมาตรฐานการบริการที่มีความน่าเชื่อถือ จึงเกิดความมั่นใจในการใช้บริการต่อไปในระยะยาว สถานที่ภายในสะอาดปลอดภัย มีการควบคุมโรคโควิด – 19 อีกทั้งครูสามารถดูแลเอาใจใส่นักเรียนอย่างใกล้ชิด รวมถึงสามารถสร้างความสัมพันธ์อันดีกับผู้ปกครองได้เป็นอย่างดี จนเกิดความประทับใจและเกิดความภักดีต่อสถาบัน ทำให้ผู้ปกครองยินดีซื้อคอร์สเรียนในระดับที่สูงขึ้นและแนะนำบอกกล่าวข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่บุคคลที่รู้จักให้ทราบถึงประโยชน์ของการเรียนจินตคณิต ผ่านการโพสต์หรือแชร์ ทางสื่อสังคมออนไลน์ เฟซบุ๊ก ไลน์ ให้กับทางสถาบันอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เช่าหทัย แซ่พัง และคณะ [13] ศึกษาเรื่อง ปัจจัยเชิงสาเหตุของการตลาดเชิงสัมพันธ์ออนไลน์ที่มีอิทธิพลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ของลูกค้า ในการใช้บริการ MOBILE BANKING ผลการวิจัย พบว่า คุณภาพอิเล็กทรอนิกส์ การรับรู้ของลูกค้า มีอิทธิพลต่อคุณภาพความสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 และ 0.05 นอกจากนี้คุณภาพความสัมพันธ์ ยังมีอิทธิพลต่อความผูกพันของลูกค้า และความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05 ทำให้สามารถเข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความภักดีอิเล็กทรอนิกส์

วัตถุประสงค์ที่ 5 เพื่อศึกษาการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ส่งผลทางตรงเชิงบวกต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน สมาร์ท เบรนน พบว่า สถาบันได้มีกิจกรรมเพื่อสร้างการแข่งขันทางการตลาด โดยนำสื่อสังคมออนไลน์เข้ามามีส่วนช่วยให้การบริหารงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อสามารถตอบสนองให้ตรงตามความต้องการของผู้ปกครองที่มาใช้บริการแต่ละรายอย่างต่อเนื่อง และมุ่งเน้นการสร้าง ความเข้าใจ รับฟังความคิดเห็น แล้วนำมาปรับปรุงพัฒนาแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น จึงทำให้การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์เป็นปัจจัยที่ช่วยสนับสนุนคุณภาพการบริการให้สามารถตอบสนองตรงตามความต้องการของผู้ปกครอง อีกทั้งการให้ข้อมูลที่ เป็นประโยชน์เกี่ยวกับหลักสูตรและการแจ้งสิทธิพิเศษ โปรโมชั่นต่าง ๆ ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เป็นการสร้างทัศนคติที่ดีต่อสถาบัน จนเกิดความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการกดไลค์ กดแชร์ โพสต์แนะนำบอกต่อกับบุคคลที่รู้จัก ผู้ปกครองยินดีที่ซื้อคอร์สในระดับที่สูงขึ้นต่อไปอีกด้วย ดังนั้น การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์จึงส่งผลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ผ่านคุณภาพการบริการของสถาบัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดวงกมล สุขมงคล และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของคุณภาพการบริการของสื่อออนไลน์กับความภักดีในการใช้สื่อออนไลน์ของผู้ใช้บริการชาวไทยที่มีต่อเว็บไซต์ที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยว ซึ่งมีองค์ประกอบของคุณภาพในด้านความน่าเชื่อถือ และการตอบสนอง โดยการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญขององค์ประกอบของคุณภาพการบริการของสื่อออนไลน์และความจงรักภักดีในการใช้สื่อออนไลน์ อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของอนุวัตร สงสม [15] ได้ทำการศึกษาเรื่อง ปัจจัยเชิงเหตุของความภักดีทางอิเล็กทรอนิกส์: กรณีศึกษาการซื้อสินค้าจากร้านค้าออนไลน์ของกลุ่มผู้บริโภคเจนเนอร์เรชั่นซี ผลการวิจัย พบว่า การรับรู้คุณภาพบริการทางอิเล็กทรอนิกส์ ด้านการตอบสนองมีอิทธิพลทางอ้อมต่อความภักดีทางอิเล็กทรอนิกส์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1. การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ของสถาบัน ด้านการรับข้อมูลย้อนกลับ ที่มีระดับความคิด

เห็นที่มีค่าน้อยกว่าด้านอื่น ทางสถาบันควรสร้างความสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์กับผู้ปกครองเพิ่มมากขึ้น เช่น การติดต่อสอบถามถึงสถานการณ์ต่าง ๆ ในปัจจุบันเกี่ยวกับสถานการณ์การระบาดโรคโควิด - 19 เป็นต้น ซึ่งสถาบันสามารถนำข้อมูลมาวางแผนกลยุทธ์ ปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับสถานการณ์ เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขปัญหา และพัฒนาให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้มาใช้บริการบนสื่อสังคมออนไลน์ได้ทันทางที

2. การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ของสถาบัน ด้านการให้บริการเชิงรุกจากค่าอิทธิพลที่สูงมากที่สุด ดังนั้น ทางสถาบันควรหมั่นตรวจสอบติดตามข้อคิดเห็นต่าง ๆ ทางเฟซบุ๊ก ไลน์ทุกวันอย่างสม่ำเสมอเพื่อจะได้สามารถปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันที และสถาบันควรมีการอัปเดตข้อมูลให้เป็นปัจจุบันอย่างต่อเนื่องอย่างน้อยอาทิตย์ละ 2 ครั้ง ซึ่งข้อมูลที่อัปเดตเป็นปัจจุบันจะช่วยให้เกิดความเข้าใจระหว่างครูกับผู้ปกครองที่มาใช้บริการมากขึ้น

3. การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ของสถาบัน ด้านการให้บริการแบบหนึ่งต่อหนึ่ง เมื่อเกิดปัญหาและได้ตรวจสอบแล้ว ทางสถาบันต้องรีบแจ้งกลับผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เช่น ไลน์ เฟซบุ๊ก หรือทางโทรศัพท์กับผู้ใช้บริการโดยตรงเพื่อสร้างความเข้าใจอันดีให้ตรงกันอย่างเป็นมิตร พร้อมรับคำแนะนำจากผู้ใช้อย่างเต็มที่

4. การบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ของสถาบัน ด้านโปรแกรมการสร้างลูกค้าที่ซื้อสัตย์ มีค่าอิทธิพลที่น้อยกว่าด้านอื่น สถาบันควรสนับสนุนการโปรโมทกิจกรรมของสถาบันมากขึ้น เช่น หากผู้ปกครองช่วยยกदर् หรือกดไลค์ ตามจำนวนที่กำหนดไว้จะได้รับส่วนลดพิเศษในการเรียนคอร์สต่อไป เป็นต้น หรือหากผู้ปกครองช่วยประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อสังคมออนไลน์แล้วมีคนสนใจ เข้ามาติดต่อสมัครเรียน ทางสถาบันควรแจกคูปองส่วนลดแก่ผู้แนะนำมาเรียนด้วย

5. คุณภาพการบริการของสถาบัน ด้านสิ่งที่สัมผัสได้ มีระดับความคิดเห็นค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับที่น้อยกว่าด้านอื่น ดังนั้น สถาบันควรเพิ่มของใช้ที่จำเป็นนอกเหนือจากวัสดุ อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอน เช่น เจลแอลกอฮอล์ หน้ากากอนามัย เจลล้างมือ เป็นต้น เพื่ออำนวยความสะดวกหรือทำให้ผู้รับบริการรู้สึกปลอดภัยกับการมาเรียนที่สถาบัน อันเนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคระบาด Covid - 19 และเพิ่มการสร้างการรับรู้ถึงตำแหน่งที่ตั้งของสถาบันผ่านสื่อสังคมออนไลน์ โดยการปักหมุดตำแหน่งที่ตั้งของสถาบัน ให้ผู้ที่มาใช้บริการสามารถเดินทางมาใช้บริการได้สะดวก รวดเร็วมากขึ้น

6. คุณภาพการบริการของสถาบัน ด้านความน่าเชื่อถือ ด้านการให้ความเชื่อมั่น ด้านการดูแลเอาใจใส่ ทุกด้านมีค่าอิทธิพลที่เท่ากัน ดังนั้น ครูผู้สอนควรหมั่นดูแลเอาใจใส่ต่อนักเรียนที่มาเรียน รักษามาตรฐานการสอนและการให้บริการแก่ผู้มาใช้บริการอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ สอบถามข้อมูลผลการเรียนของนักเรียนจากผู้ปกครอง หากมีส่วนช่วยแก้ไขปัญหาก็แก่ผู้ปกครองได้ ครูผู้สอนควรแสดงความยินดีและเต็มใจในการช่วยแก้ไขปัญหานั้น ๆ เพิ่มความสามารถจนทำให้เกิดความประทับใจ ความภักดีต่อสถาบันและความผูกพันอันดีในระยะยาวต่อไปได้

7. คุณภาพการบริการของสถาบัน ด้านการตอบสนอง มีค่าอิทธิพลมากที่สุด ดังนั้น ในยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว หากครูผู้สอนสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้ตรงประเด็นและรวดเร็วมากขึ้น จะทำให้ผู้มาใช้บริการกับสถาบัน ยินดีที่จะใช้บริการกับสถาบันต่อไปในระยะยาวอย่างแน่นอน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. วิจัยนี้เป็นการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ประกอบการที่ใช้บริการกับสถาบัน สมาร์ท เบรน เพียงกลุ่มเดียว ผลที่ได้จึงครอบคลุมเพียงสถาบันเดียวเท่านั้น เพื่อให้การวิจัยเป็นประโยชน์มากขึ้นควรมีการวิจัยขยายผลในสถาบันอื่น หรือธุรกิจอื่น ๆ เพื่อนำผลการวิจัยมาใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการกับธุรกิจที่เกี่ยวข้องได้

2. ควรมีการศึกษาข้อมูลโดยการใช้ตัวแปรอื่น ๆ ที่น่าสนใจ เช่น ตัวแปรอิสระ เป็นการตลาดเชิงสัมพันธ์ ออนไลน์ ภาพลักษณ์องค์กร ตัวแปรกลางเป็นคุณภาพความสัมพันธ์ หรือคุณภาพอิเล็กทรอนิกส์ และสำหรับตัวแปรตามเป็นความพึงพอใจหรือความผูกพัน เป็นต้น สามารถเพิ่มเติม ตามบริบทของธุรกิจเพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงและพัฒนา สถาบัน องค์กร หรือหน่วยงานให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ประกอบการที่ใช้บริการกับสถาบัน สมาร์ท เบรน ที่ให้ความช่วยเหลือในการตอบแบบสอบถามเป็นอย่างดี และสถาบัน สมาร์ท เบรน ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับข้อมูลที่ใช้สนับสนุนงานวิจัย ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจ และผลักดันให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่าจะเกิดคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการค้นคว้าอิสระฉบับนี้และหากมีข้อผิดพลาด ข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขออภัยเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิชุดา จันทรเวโรจน์, กิตติวงศ์ สาสวด, ปรีชา ดิลกวุฒิสิทธิ์, และวรรณิ นนทร์นประกิจ. (2564). มุมมองแนวคิดและทฤษฎี.วารสารชุมชนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 15(2), 13–26.
- [2] วังระ เวชประสิทธิ์, ฐานิดา สุริยะวงศ์, ชนิดาภา อาษาบาล, มณฑนา สมพงษ์, และอารยา จงใจรักษ์ (2564). คุณภาพการบริการอิเล็กทรอนิกส์ของผู้จำหน่ายสินค้าออนไลน์ที่ส่งผลต่อความภักดีของลูกค้าในจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 11(1), 115–123.
- [3] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2563) ไม่เปลี่ยนไม่ได้ ธุรกิจการศึกษา ปรับตัวหลังวิกฤตโควิด-19. สืบค้น 25 มิถุนายน 2563. จาก https://www.kasikornbank.com/SiteCollectionDocuments/business/sme/knowledge/article/KSMEAnalysis/education_covid/education_covid.pdf
- [4] นวลรัตน์ วัฒนา, และภัทรวรรณ แทนทอง. (2561). ความภักดีของนักท่องเที่ยวในบริบทโซเชียลคอมเมิร์ซ. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ Veridian มหาวิทยาลัยศิลปากร สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ. 11(2), 632–650 .
- [5] กัลยา วาณิชย์บัญชา. (2560). หลักสถิติ. สำนักพิมพ์สามลดา.

- [6] นางลักขณ์ วิรัช ชัย. (2542). สถิติวิเคราะห์ สำหรับการ วิจัย (พิมพ์ ครั้งที่ 3). สำนัก พิมพ์ แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] Hair, J. F., Jr., Black, W. C., Babin, B. J., and Anderson, R. E., (2010). Multivariate Data Analysis: A Global Perspective. 7th ed. Upper Saddle River, New Jersey : Prentice – Hall.
- [8] Hair, J. F., Jr., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., and Tatham, R. L., (2006). Multivariate Data Analysis. 6th ed. Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall.
- [9] Field, A., (2005). Discovering Statistics using SPSS. 2nd ed. London : Sage.
- [10] Pedhazur. E. J., (1997). Multiple Regression in Behavioral Research: Explanation and Prediction. 3rd ed. Fort Worth, Orlando, Florida : Harcourt Brace College.
- [11] Lin, J. C – C., and Lu, H., (2000). Towards an Understanding of the Behavioral Intention to Use a Web Site. International Journal of Information Management, 20(3), 197–208.
- [12] ทศนาภรณ์ อีรพงษ์พิพัฒน์. (2562) ความสัมพันธ์ระหว่างการบริหารลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์และคุณค่าตราสินค้าของผู้บริโภคต่อธุรกิจเครื่องสำอางนำเข้าจากประเทศเกาหลี. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [13] กุลยา อุปพงษ์, สรณ โภชนจันทร์, และภูษณิษา เตชเถกิง. (2564). อิทธิพลของการจัดการลูกค้าสัมพันธ์ทางสื่อสังคมต่อผลประโยชน์ทางการเงินองค์กร: หลักฐานเชิงประจักษ์ธุรกิจสปาในประเทศไทย. วารสารบริหารธุรกิจนิด้า, 28(พฤษภาคม 2564), 51–72.
- [14] เช่าหยี แซ่ฟ้ง, ปรีดา ศรีนฤวรรณ, ภูษณิศา เตชเถกิง, และอรุณี ยศบุตร. (2563). ปัจจัยเชิงสาเหตุของการตลาดเชิงสัมพันธ์ออนไลน์ที่มีอิทธิพลต่อความภักดีอิเล็กทรอนิกส์ของลูกค้าในการใช้บริการ MOBILE BANKING. วารสารสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยาเชิงพุทธ, 5(12), 256–271.
- [15] ดวงกมล สุขมงคล, ธนโชติ วีระธรรมมานนท์, และเมทนี มหาพรหม. (2562). ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของคุณภาพการบริการของสื่อออนไลน์กับความจงรักภักดี ในการใช้สื่อออนไลน์ของผู้ใช้บริการชาวไทยที่มีต่อเว็บไซต์ที่ให้บริการด้านการท่องเที่ยว. วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี, 13(1), 89–106.
- [16] อนุวัต สงสม “ปัจจัยเชิงเหตุความภักดีทางอิเล็กทรอนิกส์: กรณีศึกษาการซื้อสินค้าจากร้านค้าออนไลน์ของกลุ่มผู้บริโภคเจนเนอร์เรชั่นซี.” วารสารวิชาการ Veridian E – Journal มหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับภาษาไทย สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ, 11(1), 2515–2529.

