

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Volume 9 | Number 1 | January – June 2023



บทความวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางกาย พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ ต่อภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วนของพนักงานมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง
The Relationship between Physical Activity, Sedentary Behavior on the Overweight and Obesity among University Employees
กุลธิดา บรรจงศิริ, วรวิช นาคแป้น, ศรุต จิรัฐกุลธนา, อารยา ประเสริฐชัย, ปธานัน แสงอรุณ, พรสวิสต์ ศรีสวิสต์ และ อนัญญา ประดิษฐ์ปรีชา*

การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพน้ำอย่างง่ายเพื่อคาดการณ์ศักยภาพการรองรับมลพิษของลุ่มน้ำท่าจีน
Development of a Simple Water Quality Modeling for Pollution Load Carrying Capacity of Tha Chin River Basin
ภาณุวัฒน์ แตระกุล, พลภัทร อริญยานนท์, วฐา ยงสมิทธิ์ และ ปิยชัย ชัยลือธรัตน์

Pre-Impact Fall Detection System Using Logistic Regression Model
Nuth Otanasap^{1*}, Pornpimol Bungkomkhun², and Tanainan Tanantpapat³

การปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน
Mountain Soil Stabilization for Road Construction
กิตติกร ศรีลานนท์^{1*}

การควบคุมมุมเงยของอากาศยานโดยการปรับจูน PID ด้วย CS กับ FPA
Controlling the air craft pitch by tuning PID controller using CS vs FPA
ไชโย ธรรมรัตน์¹, สุริยัน เลหาเลิศเดชา^{2,3} และ วีระพันธ์ ตัวทองสุข²



SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

เจ้าของ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ที่ปรึกษา

ดร.นัททวุฒิ พืชผล

บรรณาธิการ

รศ.ดร.วีระพันธ์ คิวทองสุข (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.วีระพันธ์	คิวทองสุข	กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)
ดร.ภาณุวัฒน์	แตระกุล	กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)
ผศ.จิรจิตต์	บรรจงศิริ	กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)
พันเอก ผศ.ดร.ชวน จันทวาลย์		กรรมการ (ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า)
รศ.ดร.สมบัติ	ทิฆมทรัพย์	กรรมการ (มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย)
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)
รศ.ดร.ปิยะบุตร	วานิชพงษ์พันธุ์	กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

กรรมการบริหาร

รศ.ประสิทธิ์	สุขเสริม	ผศ.ดร.สมเกียรติ	เพียงพรานทอง
ผศ.ดร.ณัฐ	โอชนาทรัพย์	ผศ.วราธร	แก้วแสง
ผศ.วีระพงษ์	กาญจนวงศ์กุล	ผศ.เสรี	ชื่นอารมณ์
ผศ.พรนิภา	บริบูรณ์สุขศรี	นายฐา	ขงสมิทธิ์
นายมานิตย์	ธิมมาทา		

ฝ่ายพัฒนา ดูแลและปรับปรุงเว็บไซต์

นางสาวรุ่งทิวา	ลังกาพันธ์	นายระพี	วาทะศรีศิลป์
นางสาวจิราภรณ์	ปรากฏ		

ฝ่ายเลขานุการ

นางสาวหุมนุช	แย้มรู้การ	นางณัฐภาวี	จิระภาพันท์
--------------	------------	------------	-------------

จัดพิมพ์โดย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

ที่ติดต่อ วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 โทร 0-2807-4500-27 ต่อ 404

เว็บไซต์ saujournalst.sau.ac.th อีเมล SAUJournalST@sau.ac.th

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและบทความวิชาการ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหกรรม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมเกษตร
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างนักวิจัย นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานและบทความวิจัยที่น่าสนใจ และมีคุณค่าทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดองค์ความรู้ใหม่แก่นักวิจัยของมหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป

ขอบเขต

เป็นเอกสารเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการ (บทความวิชาการปริทรรศน์ บทความวิชาการเทคนิค บทความวิชาการพิเศษ) ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระการเผยแพร่

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY มีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ โดยฉบับที่ 1 จะจัดพิมพ์ระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 จะจัดพิมพ์ระหว่างเดือนกรกฎาคม-ธันวาคม ของทุกปี

ข้อคิดเห็นในบทความของวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY เป็นทรัพย์สินส่วนตัวของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

Objectives

The main objectives of this journal are:

1. to publish research articles and academic articles in science and technology, Journal focus are Electrical Engineering, Electronics and communication Engineering, Computer Science, Computer Engineering, Civil Engineering, Mechanical Engineering, Industrial Engineering, Occupational Health and Safety, Environment Engineering and Agricultural Engineering;
2. to become a center for exchanging innovations in science and technology among researchers and interested persons;
3. to become a collection of interesting and valuable research papers and articles;
4. to promote and encourage Southeast Asia University researchers and interested persons to develop innovations.

Scope

To publish research articles and academic articles (Review articles, Technical article, Special Articles) in science and technology.

Schedule

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is published two issues annually. The first volume is published between January and June and the second is published July and December in each year.

Comments on the article of the SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is a personal opinion of the author. Editors boards may not necessarily agree.

บทบรรณาธิการ

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY ปีที่ 9 ฉบับที่ 1
ประจำเดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2566 ปัจจุบันเป็นวารสารที่ได้รับรองให้อยู่ใน
ฐานข้อมูลของ TCI 2

จากผลการดำเนินงานของวารสารฉบับนี้มีบทความที่น่าสนใจทั้งหมด 5 บทความ เป็น
บทความวิจัย ได้แก่ 1.เรื่อง “ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางกาย พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่
ต่อภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วนของพนักงานมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง” 2.เรื่อง “การพัฒนา
แบบจำลองคุณภาพน้ำอย่างง่ายเพื่อคาดการณ์ศักยภาพการรองรับมลพิษของกลุ่มน้ำท่าจีน”
3.เรื่อง “Pre-Impact Fall Detection System Using Logistic Regression Model” 4.เรื่อง “การ
ปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน” และ 5.เรื่อง “การควบคุมมุมเงยของอากาศยาน
โดยการปรับจูน PID ด้วย CS กับ FPA” ซึ่งกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับ
ความรู้จากงานวิจัยต่าง ๆ ในวารสารเล่มนี้เป็นอย่างมาก

และในนามของ กองบรรณาธิการวารสาร ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ประเมินบทความทุก
ท่าน ที่ยอมเสียสละเวลาอันมีค่าช่วยกลั่นกรองงานวิจัยให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น รวมถึง
คณาจารย์ นักศึกษา บุคคลทั่ว ๆ ไปทุกท่าน ที่ให้ความสนใจส่งบทความเพื่อเข้าสู่ขบวนการ
พิจารณาคุณภาพเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ด้วยเหตุดังกล่าวนี้นี้ทำให้กองบรรณาธิการทุกท่านมีกำลังใจ
เป็นอย่างมากในการพัฒนาวารสารฯ ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย	หน้า
ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางกาย พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ ต่อภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วนของพนักงานมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง The Relationship between Physical Activity, Sedentary Behavior on the Overweight and Obesity among University Employees กุลธิดา บรรจงศิริ, วรวิษ นาคแป้น, ศรดา จิรัฐกุลธนา, อารยา ประเสริฐชัย, ปธานิน แสงอรุณ, พรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์ และ อนุญญา ประดิษฐ์ปรีชา*	1
การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพน้ำอย่างง่ายเพื่อคาดการณ์ศักยภาพ การรองรับมลพิษของกลุ่มน้ำท่าจีน Development of a Simple Water Quality Modeling for Pollution Load Carrying Capacity of Tha Chin River Basin ภาณุวัฒน์ แตระกุล, พลภัทร อรัญกานนท์, วรุต ยงสมิทธิ์ และ ปิยชัย ชัยลือรัตน์	17
Pre-Impact Fall Detection System Using Logistic Regression Model Nuth Otanasap ^{1*} , Pornpimol Bungkomkhun ² , and Tanainan Tanantpapat ³	30
การปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน Mountain Soil Stabilization for Road Construction กิตติกร ศรีลานนท์ ^{1*}	44
การควบคุมมุมเงยของอากาศยานโดยการปรับจูน PID ด้วย CS กับ FPA Controlling the air craft pitch by tuning PID controller using CS vs FPA ไชโย ธรรมรัตน์ ¹ , สุริยัน เลาทเลิศเดชา ^{2,3} และ วีระพันธ์ ดีวงทองสุข ²	57

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางกาย พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ ต่อภาวะ
น้ำหนักเกินและโรคอ้วนของพนักงานมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง

**The Relationship between Physical Activity, Sedentary
Behavior on the Overweight and Obesity among University
Employees**

กุลธิดา บรรจงศิริ, วรวิช นาคแป้น, ศรุดา จิรัฐกุลธนา, อารยา ประเสริฐชัย,
ปธานิน แสงอรุณ, พรสวรรค์ ศรีสวัสดิ์ และ อนัญญา ประดิษฐ์ปรีชา*

Kultida Bunjongsiri, Worrawit Nakpan, Saruda Jiratkulthana, Araya Prasertchai,
Pathanin Sangaroon, Ponsawat Srisawat, and Anunya Pradidthaprecha *

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
9/9 ม.9 ตำบลบางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120 ประเทศไทย
ผู้นิพนธ์ประสานงาน : pradidthaprecha.w@gmail.com

วันที่รับบทความ: 13 มกราคม 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 1 : 14 กุมภาพันธ์ 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 23 กุมภาพันธ์ 2566
วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 2 : 21 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ ภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนกำลังเป็นปัญหาสุขภาพที่เพิ่มมากขึ้นทั่วโลกและในประเทศไทย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิต อาทิ การมีกิจกรรมทางกายที่ลดลง และมีพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่นานๆ ดังนั้น การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับกิจกรรมทางกายและพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนของผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัย โดยเป็นการวิจัยเชิงสำรวจภาคตัดขวาง เก็บข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัย (n= 358 คน) ใช้แบบสอบถามกิจกรรมทางกายชุดสั้น (IPAQ) ฉบับภาษาไทย เพื่อประเมินกิจกรรมทางกายของกลุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน ใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเชิงพหุ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 61 มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน ($BMI \geq 23.0 \text{ Kg/m}^2$) กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม (กลุ่มน้ำหนักปกติ และกลุ่มน้ำหนักเกินและอ้วน) มีค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกายทั้งหมดในระดับสูง (Total PA: 45.69 MET-hours/week, 95%CI: 40.65 – 50.75 และ 38.19 MET-hours/week, 95%CI: 33.68 – 42.71 ตามลำดับ) และมีชั่วโมงเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการนั่งอยู่กับที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ค่าเฉลี่ย: 3.77 ชั่วโมงต่อวัน, 95%CI: 3.39 – 4.15 และ 4.93 ชั่วโมงต่อวัน, 95%CI: 4.59 – 5.26 ตามลำดับ) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) คือ เพศชาย (Adjusted OR: 2.05, 95%CI: 1.10 – 3.79) การมีโรคประจำตัว (Adjusted OR: 2.02, 95%CI: 1.14 – 3.57) มีภาวะอ้วนลงพุง (Adjusted OR: 18.25, 95%CI: 10.18 – 32.73) มีระดับกิจกรรมทางกายน้อย (Adjusted OR: 3.13, 95%CI: 1.20 – 8.12) และเวลาที่ใช้ในการนั่งอยู่กับที่มากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน (Adjusted OR: 3.21, 95%CI: 1.22 – 8.42) ดังนั้น จึงควรส่งเสริมให้ผู้ปฏิบัติงานรักษาน้ำหนัก

ของตนเอง เพื่อลดปัญหาทางสุขภาพด้วยการจัดกิจกรรมในการเพิ่มกิจกรรมทางกายให้เพียงพอและต่อเนื่องของพนักงานมหาวิทยาลัย

คำสำคัญ : กิจกรรมทางกาย, พฤติกรรมการนั่งกับที่, น้ำหนักเกิน, โรคอ้วน

Abstract Overweight and obesity have been a rising trend for health problem globally and Thailand also. It is because of lifestyle alterations such as lowered physical activity and increased sedentary behavior. The aim of the present research was to study levels of physical activity and sedentary behavior and factors related to overweight and obesity status of university employees. The data for this cross-sectional research was collected from employees in a university (n=358). The physical activity and sedentary behavior and their association with overweight and obesity were assessed using the Thai version of the short version of International Physical Activity Questionnaire (IPAQ). The outcomes were analyzed by multiple logistic regression. The findings suggested that 61% of the study sample was overweight/obesity ($BMI \geq 23.0 \text{ Kg/m}^2$). The average metabolic equivalent units (METs) between normal weight group and overweight and obesity group were 45.69 MET-hours/week (95%CI: 40.65 – 50.75) and 38.19 MET-hours/week (95%CI: 33.68 – 42.71), respectively. The average time of sedentary behavior was significantly different between these two groups ($p < 0.05$). So, the normal weight group spent 3.77 hours per day (95%CI: 3.39 – 4.15), whereas the overweight and obesity group spent 4.93 hours per day (95%CI: 4.59 – 5.26). The significant factors for overweight and obesity status among university employees were female (adjusted OR 2.05, 95%CI: 1.10 – 3.79), having an underlying medical condition (adjusted OR 2.02, 95%CI: 1.14 – 3.57), having metabolic syndrome (adjusted OR 18.25, 95%CI: 10.18 – 32.73), having low physical activity (adjusted OR 3.13, 95%CI: 1.20 – 8.12), and sitting on a chair longer than 8 hours per day (adjusted OR 3.21, 95%CI: 1.22 – 8.42). Therefore, it is recommended to promote university employees for taking care of their body weight in order to maintain good health by continuously increasing physical activity.

Keywords: Physical activity, Sedentary behavior, Overweight, Obesity

1. บทนำ

ปัจจุบันประชากรมากกว่าหนึ่งพันล้านคนทั่วโลกเป็นโรคอ้วน (Obesity) อยู่ในวัยผู้ใหญ่ถึง 650 ล้านคน ซึ่งองค์การอนามัยโลก (World Health Organization;

WHO) ประเมินการไว้ว่าภายในปี พ.ศ. 2568 จะมีประชากรอีกประมาณ 167 ล้านคน มีสุขภาพที่แย่ลงเนื่องจากมีน้ำหนักเกินและอ้วน [1] สำหรับสถานการณ์ภาวะอ้วนในประเทศไทย ข้อมูลจากรายงานการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกายครั้งที่ 6

พบว่าความชุกของภาวะอ้วนในประชากรอายุตั้งแต่ 15 ปีขึ้นไป มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจนจากร้อยละ 37.5 ในปี พ.ศ. 2557 เป็นร้อยละ 42.4 ในปี พ.ศ. 2564 [2] ซึ่งทำให้ภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนกลายเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญ [3]

นอกจากนี้ น้ำหนักเกิน/อ้วนมีสาเหตุเชื่อมโยงกับปัจจัยต่างๆ ทั้งพฤติกรรมการบริโภคอาหารหวาน มัน เกล็ม การดื่มแอลกอฮอล์ สภาพทางเศรษฐกิจและสังคม ปัจจัยทางพันธุกรรม [4] และยังสัมพันธ์กับระดับการมีกิจกรรมทางกายที่ลดลงอีกด้วย [5-6] การมีกิจกรรมทางกายที่ไม่เพียงพอ ก่อให้เกิดพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ (Sedentary behavior: SB) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ ร้อยละ 22-23 โรคเมตาบอลิซึมในผู้ใหญ่ ร้อยละ 16-17 โรคเบาหวาน ร้อยละ 15 และโรคหลอดเลือดสมอง ร้อยละ 12-13 และความเสี่ยงจากการเสียชีวิตที่เกิดจากทุกสาเหตุอีกด้วย [2, 7-8]

จากการเปลี่ยนแปลงทางด้านสังคม เศรษฐกิจ มีผลต่อการลดกิจกรรมทางกาย (Physical activity: PA) เพิ่มพฤติกรรมนั่งอยู่กับที่ของประชากรวัยทำงาน [5-6, 9] เนื่องจากในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการพัฒนาทางเศรษฐกิจมีผลทำให้บุคคลมีการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันน้อยลง เปลี่ยนวิธีการดำเนินชีวิตจากการใช้แรงงานไปสู่การใช้เทคโนโลยีและเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการทำงาน ทำให้คนทำงานสามารถนั่งทำงานอยู่กับที่ได้ โดยใช้เวลาประมาณหนึ่งในสามถึงครึ่งหนึ่งของวันทำงานกับการนั่ง รวมถึงยังใช้เวลาหลายชั่วโมงในการนั่งพักผ่อน [10] ส่งผลให้มีโอกาสทำกิจกรรมทางกายในที่ทำงานน้อยลงไปด้วย [11]

บุคลากรผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัย อาทิ พนักงานฝ่ายทะเบียนและวัดผล พนักงานฝ่ายบุคคล พนักงานฝ่ายการเงิน พนักงานในสำนักงาน พนักงานคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้ที่ทำงานนั่งอยู่กับที่นั้นจะมีลักษณะงานที่อยู่ในอิริยาบถเดิมๆ เป็นเวลานานหลายชั่วโมง รวมทั้ง

การเคลื่อนไหว และการมีสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสมอันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะเสี่ยงต่อปัญหาโรคอ้วนได้เนื่องจากมีกิจกรรมทางกายในระหว่างการทำงานน้อยลง [12-14]

ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาระดับกิจกรรมทางกายและพฤติกรรมการนั่งกับที่ และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนของผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัย เพื่อใช้เป็นข้อมูลให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและใช้ข้อมูลเป็นแนวทางในการป้องกันและควบคุมภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วนต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 รูปแบบวิจัย

การวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Study)

2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาค้างครั้งนี้คือ ผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง จำนวน 1,567 คน (ข้อมูล ณ วันที่ 22 เมษายน 2565) คำนวณขนาดตัวอย่างจากสูตรประมาณค่าสัดส่วนประชากร [15] ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 358 คน การสุ่มกลุ่มตัวอย่างผู้วิจัยทำการสุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified sampling) โดยแบ่งกลุ่มตามสำนัก (แผนก) ที่ทำงาน และสุ่มอย่างง่ายตามสัดส่วนของผู้ปฏิบัติงานในแต่ละสำนัก โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ดังนี้ *เกณฑ์การคัดเลือกเข้า (Inclusion criteria)*: เป็นบุคลากรปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยมีอายุ 18 ปีขึ้นไป ทั้งเพศชายและเพศหญิง; มีค่าดัชนีมวลกาย ($BMI \geq 18.5 \text{ Kg/m}^2$; สามารถอ่านออกและเขียนได้; ไม่มีความพิการทางสายตาหรือการได้ยิน; และยินดีเข้าร่วมโครงการวิจัย *เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)*: ขาดข้อมูลเกี่ยวกับดัชนีมวลกาย และ/หรือส่วนสูง; มีประวัติโรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหลอดเลือดสมองหรือเนื้องอก; และไปอบรมสัมมนาหรือลาในวันที่ยื่นแจ้งหรือลาออกจากงานที่มหาวิทยาลัย จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด

358 คน มีกลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักปกติจำนวน 141 คน และกลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักเกินและอ้วนจำนวน 217 คน

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลระหว่างเดือนกันยายน ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2565 โดยใช้แบบสอบถามที่ได้มาตรฐาน (IPAQ) และผู้วิจัยทำการชี้แจงโครงการวิจัย แจกเอกสารและแบบฟอร์มยินยอมเข้าร่วมโครงการ ให้กับกลุ่มตัวอย่างก่อนการเก็บข้อมูล ซึ่งโครงการวิจัยนี้ ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จาก คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เลขที่ IRB-SHS 2020/1004/90

2.4 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ในการศึกษา วิจัยครั้งนี้ มีตัวแปรลักษณะทางประชากรศาสตร์และ พฤติกรรมเสี่ยงต่อสุขภาพ เป็นตัวแปรควบคุม ประกอบด้วย (1) เพศ (ชาย, หญิง) (2) อายุ (แบ่งกลุ่มเป็น 4 กลุ่ม: ≤ 30 ปี, 31 – 40 ปี, 41 – 50 ปี, ≥ 51 ปีขึ้นไป) (3) สถานภาพสมรส (โสด, สมรส, หม้าย/หย่า/แยก) (4) ระดับการศึกษา (ต่ำกว่าปริญญาตรี, ปริญญาตรีหรือสูงกว่า) (5) รายได้ต่อเดือน (แบ่งเป็น 4 กลุ่ม: $\leq 20,000$ บาท, 20,001 – 30,000 บาท, 30,001 – 40,000 บาท, $\geq 40,001$ บาทขึ้นไป) (6) โรคประจำตัว (มี, ไม่มี) (7) การสูบบุหรี่/ ยาเส้น/บุหรี่ไฟฟ้า (สูบ, ไม่สูบ) (8) การดื่มเครื่องดื่ม แอลกอฮอล์ (ดื่ม, ไม่ดื่ม) และ (9) สถานะสุขภาพปัจจุบัน (ไม่ดี, ดี)

2.4.2 ข้อมูลภาวะโภชนาการ ประกอบด้วย เส้นรอบเอว น้ำหนัก และส่วนสูง โดยข้อมูลเส้นรอบเอวจะใช้เกณฑ์รอบเอวปกติไม่เกินส่วนสูงหารสอง [16] แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (1) ปกติ และ (2) อ้วนลงพุง และสำหรับข้อมูลน้ำหนักและส่วนสูงนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีมวลกาย (Body mass index: BMI) คำนวณโดยใช้สูตร: น้ำหนักตัว (กิโลกรัม: Kg)/ความสูง

(เมตร: m)² ในการศึกษาที่กำหนดระดับค่าดัชนีมวลกาย เป็น (1) น้ำหนักปกติ (Normal weight) (BMI 18.5-22.9 kg/m²) และ (2) น้ำหนักเกิน และ อ้วน (Overweight/Obesity) (BMI ≥ 23.0 kg/m²) ขึ้นไป ตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลกสำหรับคนไทย [17]

2.4.3 ข้อมูลกิจกรรมทางกาย และพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ (เวลาที่ใช้สำหรับการนั่ง)

ข้อมูลกิจกรรมทางกาย ได้มาจากการใช้แบบสอบถามการเคลื่อนไหวร่างกายระดับสากลชุดสั้น (The short version of International Physical Activity Questionnaire: IPAQ) ฉบับภาษาไทย [18] แบบสอบถามประกอบด้วยคำถาม 7 ข้อเกี่ยวกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน ชีวิตประจำวัน และการพักผ่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาที่ใช้ไปกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายระดับหนักและปานกลาง การเดิน และการนั่ง ที่รายงานในช่วง 1 สัปดาห์ที่ผ่านมา

การเคลื่อนไหวร่างกายระดับหนัก หมายถึง กิจกรรมที่ต้องออกแรงมาก อาทิ การยกของหนัก ขุดดิน เดินแอโรบิก หรือถีบจักรยานเร็วๆ ที่ทำให้รู้สึกเหนื่อยกว่าปกติมาก โดยหายใจแรงและเร็ว ส่วนการเคลื่อนไหวร่างกายระดับปานกลาง หมายถึง กิจกรรมที่ต้องออกแรงพอประมาณ อาทิ ถีบของที่มีน้ำหนักเบา ถีบจักรยานด้วยความเร็วปกติ หรือเล่นเทนนิสคู่ ที่ทำให้รู้สึกเหนื่อยกว่าปกติพอควร โดยหายใจแรงกว่าปกติเล็กน้อย

พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนไหวร่างกาย คำนวณตามโปรโตคอลของ IPAQ [19] โดยการคูณเวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรม (จำนวนนาทีกิจกรรมที่กำหนดในสัปดาห์ที่รายงาน) ด้วยระดับความเข้มข้น (ในหน่วย METs) ที่สอดคล้องกับกิจกรรมนั้น: 8, 4, 3.3 METs สำหรับกิจกรรมที่มีความเข้มข้นหนัก ความเข้มข้นปานกลาง และการเดิน ตามลำดับ ซึ่งพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมทั้งหมดได้มาจากการรวมกิจกรรมทั้งสามองค์ประกอบย่อยเข้าด้วยกันและแสดงเป็นนาทีก่อน/สัปดาห์ (MET-minutes/week) โดยระดับของกิจกรรมทางกาย จะแบ่ง

ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ การเคลื่อนไหวร่างกายน้อย (Low PA) การเคลื่อนไหวร่างกายปานกลาง (Moderate PA) และการเคลื่อนไหวร่างกายอย่างสูง (High PA) ตามเกณฑ์การให้คะแนนของ IPAQ [19] ในการศึกษาครั้งนี้ค่าพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนไหวร่างกายจากงานที่/สัปดาห์ จะถูกแปลงและแสดงผลเป็น ชั่วโมง/สัปดาห์ เพื่อความเหมาะสม สอดคล้องกับการแปลความผลการวิจัย

สำหรับข้อมูลพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ (เวลาที่ใช้สำหรับการนั่ง) เป็นส่วนหนึ่งของ IPAQ (ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของค่าพลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนไหวร่างกาย) ผู้วิจัยกำหนดให้ผู้ตอบแบบสอบถาม ระบุเวลาทั้งหมดที่ใช้สำหรับการนั่ง ซึ่งรวมถึงตั้งแต่เวลาที่ใช้นั่งในที่ทำงาน ที่บ้าน ในเวลารว่าง ระหว่างเดินทางโดยยานพาหนะ ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการนอนหลับ (ชั่วโมง/วัน) ซึ่งเวลาที่ใช้สำหรับการนั่งในแต่ละวันจะถูกใช้เป็นตัวแทนของพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่โดยรวม แบ่งออกเป็น (1) ผู้ที่มีเวลาในการนั่งทั้งหมดน้อยกว่า 8 ชั่วโมง/วัน และ (2) ผู้ที่มีเวลาในการนั่งทั้งหมดมากกว่าหรือเท่ากับ 8 ชั่วโมง/วัน อ้างอิงการแบ่งกลุ่มจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่รายงานว่า การใช้เวลานั่งทั้งหมดมากกว่า 8 ชั่วโมง/วัน มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการตายจากทุกสาเหตุ [20]

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป STATA version 14 (Stata Corp, College Station, TX) และสถิติเชิงพรรณนา แสดงข้อมูลลักษณะทั่วไปและข้อมูลอื่นๆ ของกลุ่มตัวอย่างตามสถานะของดัชนีมวลกาย นำเสนอด้วยค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุดและสูงสุด ค่ามัธยฐาน ควอไทล์ (Q_1 , Q_3) และใช้สถิติไคสแควร์ (Chi-square) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาตามสถานะของดัชนีมวลกาย และตรวจสอบค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกาย (MET-hours/week) และพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่

(ชั่วโมง/วัน) เทียบกับสถานะของดัชนีมวลกาย โดยใช้สถิติ independent t-test และสำหรับการปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน วิเคราะห์ด้วยสถิติการถดถอยโลจิสติกเชิงพหุ (Multiple logistic regression) นำเสนอด้วยค่า Adjusted Odd Ratio (Adjusted OR) และช่วงเชื่อมั่น 95% (95%CI)

3. ผลการศึกษา

3.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างตามสถานะของดัชนีมวลกาย เป็นกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ (Normal weight) และกลุ่มที่มีน้ำหนักเกินและอ้วน (Overweight/obesity) จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 358 คน มีถึง 217 คน หรือประมาณ 61% จัดอยู่ในกลุ่มที่มีน้ำหนักเกินและอ้วน กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงร้อยละ 70.11 มีอายุอยู่ในช่วง 41-50 ปี (ร้อยละ 33.80) และมีอายุเฉลี่ย $\pm$ (S.D.) เท่ากับ 44.89 ± 10.26 ปี มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 48.60 กลุ่มตัวอย่างมากกว่าครึ่งหนึ่ง (ร้อยละ 64.80) มีการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า และมีรายได้ต่อเดือนส่วนใหญ่อยู่ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20,000 บาท (ร้อยละ 53.63)

สำหรับข้อมูลพฤติกรรมเสี่ยงต่อสุขภาพ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่สูบบุหรี่/ยาเส้น/บุหรี่ไฟฟ้า (ร้อยละ 84.64) แต่ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 58.38) สถานะสุขภาพในปัจจุบันอยู่ในระดับดี (ร้อยละ 93.02) กลุ่มตัวอย่างประมาณ 58% มีโรคประจำตัว และมีภาวะอ้วนลงพุงถึงร้อยละ 53.07

ข้อมูลระดับกิจกรรมทางกาย กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีกิจกรรมทางกายระดับสูง ร้อยละ 58.38 รองลงมาคือ ระดับปานกลาง (ร้อยละ 24.86) และระดับน้อย (ร้อยละ 16.76) ในขณะที่ข้อมูลพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ประมาณ 88% ใช้เวลาในการนั่งอยู่กับที่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง/วัน และจากข้อมูลระดับกิจกรรมทาง

กายยังพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีกิจกรรมทางกายระดับน้อย และใช้เวลาในการนั่งต่อวันมากกว่า 8 ชั่วโมง เป็นสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักเกินและอ้วนถึงร้อยละ 85.00 และ 79.07 ตามลำดับ

จากการทดสอบความสัมพันธ์ด้วยสถิติไคสแควร์ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ปัจจัยด้านโรคประจำตัว

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างตามสถานะของดัชนีมวลกาย (BMI) (n=358)

ปัจจัย	กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด n (%)	ระดับดัชนีมวลกาย (BMI)		p-value*
		น้ำหนักปกติ (n=141)	น้ำหนักเกินและอ้วน (n=217)	
		n (%)	n (%)	
เพศ				0.09
หญิง	251 (70.11)	106 (42.33)	145 (57.77)	
ชาย	107 (29.89)	35 (32.71)	72 (67.29)	
อายุ (ปี)				0.18
≤ 30	43 (12.01)	22 (51.16)	21 (48.84)	
31 – 40	75 (20.95)	30 (40.00)	45 (60.00)	
41 – 50	121 (33.80)	50 (41.32)	71 (58.68)	
≥ 51 ขึ้นไป	119 (33.24)	39 (32.77)	80 (67.23)	
อายุเฉลี่ย (± S.D.): 44.89 ± 10.26				
สถานภาพสมรส				0.13
โสด	152 (42.46)	69 (45.39)	83 (54.61)	
สมรส	174 (48.60)	60 (34.48)	114 (65.52)	
หม้าย/ หย่า/ แยก	32 (8.94)	12 (37.50)	20 (62.50)	
รายได้ต่อเดือน (บาท)				0.47
≤ 20,000	192 (53.63)	75 (39.06)	117 (60.94)	
20,001 – 30,000	84 (23.46)	38 (45.24)	46 (54.76)	
30,001 – 40,000	40 (11.17)	15 (37.50)	25 (62.50)	
≥ 40,001 ขึ้นไป	42 (11.73)	13 (30.95)	29 (69.05)	
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (± S.D.): 22,870.39 บาท ± 12,725.99				
ค่ามัธยฐาน (Q ₁ : Q ₃): 20,000 (8,000: 58,390)				
ระดับการศึกษา				0.55
ต่ำกว่าปริญญาตรี	126 (35.20)	47 (37.30)	79 (62.70)	
ปริญญาตรี หรือสูงกว่า	232 (64.80)	94 (40.52)	138 (59.48)	

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างตามสถานะของดัชนีมวลกาย (BMI) (n=358) (ต่อ)

ปัจจัย	กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด n (%)	ระดับดัชนีมวลกาย (BMI)		p-value*
		น้ำหนักปกติ (n=141)	น้ำหนักเกินและอ้วน (n=217)	
		n (%)	n (%)	
การสูบบุหรี่/ยาเส้น/บุหรี่ไฟฟ้า				0.84
ไม่สูบ	303 (84.64)	120 (39.60)	183 (60.40)	
สูบ	55 (15.36)	21 (38.18)	34 (61.82)	
การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์				0.88
ไม่ดื่ม	149 (41.62)	58 (38.93)	91 (61.07)	
ดื่ม	209 (58.38)	83 (39.71)	126 (60.29)	
โรคประจำตัว				0.01**
ไม่มี	149 (41.62)	71 (47.65)	78 (52.35)	
มี	209 (58.38)	70 (33.49)	139 (66.51)	
สถานะสุขภาพปัจจุบัน				0.10
ไม่ดี	25 (6.98)	6 (24.00)	19 (76.00)	
ดี	333 (93.02)	135 (40.54)	198 (59.46)	
เส้นรอบเอว (เซนติเมตร)				<0.001**
ปกติ	168 (46.93)	119 (70.83)	49 (29.17)	
อ้วนลงพุง	190 (53.07)	22 (11.58)	168 (88.42)	
ค่ามัธยฐาน (Q ₁ :Q ₃): 81.30 (76.20: 86.40)				
ระดับกิจกรรมทางกาย				<0.001**
น้อย	60 (16.76)	9 (15.00)	51 (85.00)	
ปานกลาง	89 (24.86)	35 (39.33)	54 (60.67)	
สูง	209 (58.38)	97 (46.41)	112 (53.59)	
พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่				0.01**
ไม่ใช้ (< 8 ชั่วโมง/วัน)	315 (87.99)	132 (41.90)	183 (58.10)	
ใช้ (≥ 8 ชั่วโมง/วัน)	43 (12.01)	9 (20.93)	34 (79.07)	

*ทดสอบโดยใช้สถิติ Chi-square test

**p-value < 0.05

3.2 ค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกายและพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ของกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกาย (MET-hours/week) และพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ (Hours/day) ตามสถานะของดัชนีมวลกาย พบว่า ในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติรายงานค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกายที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติมากกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนัก

เกินและอ้วนในประเภทของการเดิน และกิจกรรมทางกายทั้งหมด ($p\text{-value} < 0.05$) ในส่วนของพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ พบว่า ชั่วโมงเฉลี่ยของการนั่งต่อวันในกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติมีค่าเท่ากับ 3.77 ชั่วโมง/วัน และกลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักเกินและอ้วนมีชั่วโมงเฉลี่ยของการนั่งต่อวันเท่ากับ 4.93 ชั่วโมง/วัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.001$)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกาย (MET-hours/week) และพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ (Hours/day) ตามสถานะของดัชนีมวลกาย (BMI) (n=358)

ปัจจัย	ดัชนีมวลกาย (BMI)		p-value*
	น้ำหนักปกติ	น้ำหนักเกินและอ้วน	
	(n=141)	(n=217)	
กิจกรรมทางกาย, MET-hours/week (95% CI)			
การเดิน	17.96 (15.21 - 20.70)	13.94 (12.00 - 15.88)	0.02**
การเคลื่อนไหวร่างกายระดับปานกลาง	14.36 (11.89 - 16.83)	12.45 (10.52 - 14.38)	0.23
การเคลื่อนไหวร่างกายระดับหนัก	13.38 (11.27 - 15.49)	11.80 (9.88 - 13.73)	0.29
กิจกรรมทางกายทั้งหมด	45.69 (40.65 - 50.75)	38.19 (33.68 - 42.71)	0.03**
พฤติกรรมการนั่งกับที่, Hour/day (95% CI)	3.77 (3.39 - 4.15)	4.93 (4.59 - 5.26)	<0.001**

*ทดสอบโดยใช้สถิติ t-test

**p-value < 0.05

3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน

ตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน จากการวิเคราะห์ถดถอยหลายตัวแปร โดยใช้สถิติการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกเชิงพหุ (Multiple logistic regression) ผลการวิเคราะห์พบว่า กลุ่มตัวอย่างเพศชาย มีโอกาสที่จะมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากเป็น 2 เท่า

ของเพศหญิง (Adjusted OR: 2.05, 95%CI: 1.10 – 3.79) และกลุ่มตัวอย่างที่มีโรคประจำตัว มีโอกาสที่จะมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากเป็น 2 เท่าของกลุ่มที่ไม่มีโรคประจำตัว (Adjusted OR: 2.02, 95%CI: 1.14 – 3.57) และเมื่อเปรียบเทียบเส้นรอบเอว กลุ่มอ้วนลงพุง มีโอกาสสูงมากที่จะมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากกว่ากลุ่มปกติถึง 18 เท่า (Adjusted OR: 18.25, 95%CI: 10.18 – 32.73) ในขณะที่ระดับกิจกรรมทางกาย พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มี

ระดับกิจกรรมทางกายระดับน้อย (Low PA) มีโอกาสที่จะมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากเป็น 3.13 เท่าของกลุ่มที่มีระดับกิจกรรมทางกายระดับมาก (High PA) (Adjusted OR: 3.13, 95%CI: 1.20 – 8.12) รวมถึงกลุ่มตัวอย่างที่มี

พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่มากกว่าหรือเท่ากับ 8 ชั่วโมง/วัน มีโอกาสที่จะมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากเป็น 3.21 เท่าของกลุ่มที่ใช้เวลานั่งอยู่กับที่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง/วัน (Adjusted OR: 3.21, 95%CI: 1.22 – 8.42)

ตารางที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน (n=358)

ปัจจัย	ดัชนีมวลกาย (BMI)		Crude OR (95%CI)	p-value	Adjusted OR (95%CI)	p-value*
	น้ำหนักปกติ	น้ำหนักเกินและอ้วน				
	n (%)	n (%)				
เพศ						
หญิง	106 (42.23)	145 (57.77)	1		1	
ชาย	35 (32.71)	72 (67.29)	1.50 (0.94 - 2.42)	0.09	2.05 (1.10 - 3.79)	0.02**
โรคประจำตัว						
ไม่มี	71 (47.65)	78 (52.35)	1		1	
มี	70 (33.49)	139 (66.51)	1.81 (1.18 - 2.78)	0.01	2.02 (1.14 - 3.57)	0.02**
เส้นรอบเอว						
ปกติ	119 (70.83)	49 (29.17)	1		1	
อ้วนลงพุง	22 (11.58)	168 (88.42)	18.55 (10.65-32.31)	<0.001	18.25 (10.18-32.73)	<0.001**
ระดับกิจกรรมทางกาย						
น้อย	9 (15.00)	51 (85.00)	4.91 (2.29 - 10.48)	<0.001	3.13 (1.20 - 8.12)	0.02**
ปานกลาง	35 (39.33)	54 (60.67)	1.34 (0.81 - 2.21)	0.26	1.11 (2.57 - 2.13)	0.77
มาก	97 (46.41)	112 (53.59)	1		1	
พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ (เวลาที่ใช้ในการนั่ง: มากกว่าหรือเท่ากับ 8 ชั่วโมง/วัน)						
ไม่ใช่	132 (41.90)	183 (58.10)	1		1	
ใช่	9 (20.93)	34 (79.07)	2.73 (1.26-5.87)	0.01	3.21 (1.22-8.42)	0.02**

*วิเคราะห์โดยใช้สถิติ Multiple logistic regression

**p-value < 0.05

4. อภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาระดับกิจกรรมทางกายและพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนของผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัย ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาจำนวน 358 คน มีถึง 217 คนหรือประมาณ 61% ที่มีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน ($BMI \geq 23.0 \text{ kg/m}^2$) มีอายุเฉลี่ย $44.89 (\pm 10.26)$ ปี กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ แต่ไม่สูบบุหรี่ และกลุ่มตัวอย่างเกินครึ่งหนึ่งมีโรคประจำตัวและมีภาวะอ้วนลงพุง สำหรับข้อมูลกิจกรรมทางกายพบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักเกินและอ้วน มีค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกายทุกประเภทน้อยกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักปกติ ในขณะที่พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ กลุ่มตัวอย่างที่มีน้ำหนักเกินและอ้วน มีชั่วโมงเฉลี่ยของการนั่งอยู่กับที่สูงกว่ากลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และผลการศึกษานี้ยังพบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน ได้แก่ เพศชาย การมีโรคประจำตัว มีภาวะอ้วนลงพุง การมีระดับกิจกรรมทางกายน้อย และเวลาที่ใช้ในการนั่งอยู่กับที่มากกว่าหรือเท่ากับ 8 ชั่วโมงต่อวัน

กลุ่มตัวอย่างเพศชาย มีโอกาสที่จะมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากกว่าเพศหญิง สอดคล้องกับการสำรวจสุขภาพประชาชนไทยโดยการตรวจร่างกาย ครั้งที่ 6 พ.ศ. 2562-2563 พบว่าภาวะอ้วนลงพุงในผู้ชายมีความชุกเพิ่มขึ้น [2] และงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าผู้ชายมีความชุกของภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนมากกว่าผู้หญิง [21] อาจดูเหมือนเป็นภาพสะท้อนของผู้ชายที่มีกิจกรรมทางกายในการทำงานที่น้อยลงกว่าผู้หญิง [2] ในทางกลับกันผู้ชายใช้สัดส่วนของเวลาในการเล่นกีฬามากกว่าผู้หญิง [2] ทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการออกกำลังกายที่หนักนั้นทำให้มีความอยากอาหารที่เพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยการขาดพลังงาน ซึ่งอาจอธิบายได้ว่า

ทำไมผู้ชายจึงมีโอกาสมักจะมีภาวะน้ำหนักเกินและเกินมากกว่าผู้หญิง [22] ในขณะเดียวกันนั้นผู้ชายยังใช้เวลาในการนั่งทำงานอยู่กับที่เป็นเวลานานกว่าผู้หญิงทำให้มีความเสี่ยงที่สูงขึ้นของภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน [23-24]

อย่างไรก็ตาม ข้อค้นพบของงานวิจัยนี้รายงานตรงกันข้ามกับการศึกษาก่อนหน้า ที่ระบุว่าเพศชายมีการเข้าร่วมกิจกรรมทางกายมากกว่าเพศหญิง [25-27] โดยเพศชายจะใช้เวลาต่อวัน (นาทีก) ในกิจกรรมทางกายระดับปานกลางถึงหนักมากกว่าเพศหญิง [25] และ การศึกษานี้ยังพบอีกว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีโรคประจำตัวและมีภาวะอ้วนลงพุงนั้นมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน [28-29] ซึ่งปัจจัยภาวะอ้วนลงพุงเป็นปัจจัยที่มักพบความสัมพันธ์กับโรคอ้วน ซึ่งสะท้อนถึงความไม่สมดุลของการบริโภคและการมีกิจกรรมทางกาย [30] ส่วนการมีโรคประจำตัวนั้น เชื่อว่าโรคอ้วนอาจเป็นสาเหตุของการมีโรคประจำตัวจึงสามารถพบร่วมกันได้ [11] และการมีปัจจัยเสี่ยงของโรคประจำตัวที่เพิ่มขึ้นยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ลดการเคลื่อนไหวร่างกาย [31] ทั้งนี้การปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยที่มีลักษณะการทำงานที่ต้องนั่งประจำที่มีเทคโนโลยีและเครื่องมืออำนวยความสะดวก ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถนั่งทำงานอยู่กับที่ตลอดเวลา ยิ่งส่งผลให้มีโอกาสทำกิจกรรมกายภายในที่ทำงานน้อยลง [32] และเพิ่มพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาภาวะน้ำหนักเกินและโรคอ้วน [25] ด้วยเหตุนี้ ควรมีการสร้างสภาพแวดล้อมเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมสุขภาพ โดยกำหนดเป้าหมายไปที่กลุ่มผู้ปฏิบัติงานเพศชายที่มีโรคประจำตัวและอ้วนลงพุง ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน

ระดับกิจกรรมทางกายพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกาย แยกตามประเภทของกิจกรรม พบว่า

ทั้งกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และกลุ่มที่มีน้ำหนักเกินและอ้วน มีค่าเฉลี่ยของกิจกรรมทางกาย ทั้งพลังงานที่ใช้ในการเดิน (17.96 MET-hours/week และ 13.94 MET-hours/week ตามลำดับ) การเคลื่อนไหวร่างกายระดับปานกลาง (14.36 MET-hours/week และ 12.45 MET-hours/week ตามลำดับ) การเคลื่อนไหวร่างกายระดับหนัก (13.38 MET-hours/week และ 11.80 MET-hours/week ตามลำดับ) ซึ่งทุกประเภทจัดอยู่ในระดับกิจกรรมทางกายปานกลาง แสดงให้เห็นว่าทั้งสองกลุ่มมีระดับกิจกรรมทางกายเป็นไปตามที่องค์การอนามัยโลกแนะนำ (ระดับกิจกรรมทางกายขั้นต่ำ 600 MET-minutes/week (หรือ 10 MET-hours/week)) [33] แต่ก็ยังพบว่ากลุ่มตัวอย่างยังมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนอยู่ ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างอาจจะต้องทำกิจกรรมทางกายมากกว่าระดับที่แนะนำเพื่อลดน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม ปริมาณและความเข้มข้นของกิจกรรมทางกายนั้นยังไม่ชัดเจน เนื่องจากมีความแตกต่างกันในแต่ละบุคคล และเปลี่ยนแปลงตามปริมาณพลังงานที่ร่างกายได้รับ [34] รวมถึงทั้งกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และกลุ่มที่มีน้ำหนักเกินและอ้วน มีพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่หรือใช้เวลาในการนั่งค่อนข้างสูงในแต่ละวัน (3.77 ชั่วโมง/วัน และ 4.93 ชั่วโมง/วัน ตามลำดับ) ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาในชาวมาเลเซียวัยผู้ใหญ่จำนวน 17,261 คน ที่พบว่าทั้งกลุ่มที่มีน้ำหนักปกติ และกลุ่มที่มีน้ำหนักเกินหรืออ้วนมีพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ประมาณ 4 ชั่วโมงต่อวัน [35] การมีพฤติกรรมนั่งอยู่กับที่นานอาจเป็นเพราะลักษณะการทำงานของกลุ่มตัวอย่างเป็นงานนั่งโต๊ะ มีการใช้คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในแต่ละวัน ซึ่งการมีพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่นานอาจจะทำให้มีความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพในอนาคตได้ เนื่องจากพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่นานมีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่น้ำหนักเกินหรืออ้วน [35-36] และยังสามารถเพิ่มความ

เสี่ยงทางสุขภาพได้โดยไม่ขึ้นกับการมีกิจกรรมทางกายที่มีระดับความหนักปานกลางถึงมาก เพราะถึงแม้จะมีกิจกรรมทางกายสม่ำเสมอ แต่มีพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่นานมากเกินไปจะมีผลเสียต่อสุขภาพ [37] การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าถึงแม้กลุ่มตัวอย่างจะเป็นผู้ที่มีการมีกิจกรรมทางกายที่เพียงพอต่อการมีสุขภาพดี แต่การมีพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่นานก็ย่อมส่งผลกระทบต่อสุขภาพ [38-39] และลดทอนผลของการมีกิจกรรมทางกายในการช่วยป้องกันปัญหาสุขภาพลงได้ [40]

ข้อจำกัดของการศึกษาค้นครั้งนี้คือ (1) เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง ซึ่งทำการศึกษาเพียงครั้งเดียวอาจไม่สะท้อนความสัมพันธ์ในเชิงเหตุและผลของปัจจัยต่างๆ ได้ ดังนั้นการศึกษาวัยในอนาคตอาจจะต้องใช้รูปแบบการศึกษาคัดตามในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น และเพิ่มเติมตัวแปรที่วัดการบริโภคอาหาร กิจกรรมทางกาย และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักไปพร้อมกัน เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างกิจกรรมทางกายกับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน และ (2) แบบสอบถามเกี่ยวกับกิจกรรมทางกายอาจมีอคติในการระลึกได้ ส่งผลให้รายงานพฤติกรรมจริงต่ำกว่าความเป็นจริงได้ แต่อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่หน่วยงานเกี่ยวกับกิจกรรมทางกาย พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนของผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัย สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาโปรแกรมการแทรกแซงที่เหมาะสมกับการแก้ไขปัญหาดังกล่าวต่อไป รวมถึงการใช้แบบสอบถาม Short-IPAQ ที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว ช่วยให้สามารถเปรียบเทียบกับประชากรในการศึกษาอื่นๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศได้

5. สรุปผล

ผลของงานวิจัยนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยด้านเพศชาย ภาวะอ้วนลงพุง และการมีโรคประจำตัวมี

ความสัมพันธ์กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางกาย พฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่ กับภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน แนะนำว่าการมีระดับกิจกรรมทางกายที่ต่ำสัมพันธ์กับความเสี่ยงของการมีภาวะน้ำหนักเกินและอ้วนที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีระดับกิจกรรมทางกายปานกลางถึงมาก หากยังมีพฤติกรรมการนั่งอยู่กับที่นานๆ ย่อมมีความสัมพันธ์กับปัญหาทางสุขภาพ หรือเสียชีวิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วน การกำหนดเป้าหมายเพื่อป้องกันและควบคุมภาวะน้ำหนักเกินหรืออ้วนในผู้ปฏิบัติงาน หน่วยงานจึงควรส่งเสริมให้มีการสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการมีกิจกรรมทางกาย อาทิ การเพิ่มพื้นที่ออกกำลังกาย ส่งเสริมการสัญจรด้วยเท้า การใช้นั่งไคในที่ทำงาน เพื่อเพิ่มการมีกิจกรรมทางกายอย่างเพียงพอทั้งในเวลางานและนอกเวลางานด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก ทุนวิจัยสร้างองค์ความรู้เพื่อพัฒนาประเทศ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช และขอขอบคุณผู้ปฏิบัติงานในมหาวิทยาลัยทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] World health organization. (2022, Dec. 26). “World obesity day 2022-Accelerating action to stop obesity” [Online]. Available: <https://www.who.int/news/item/04-03-2022-world-obesity-day-2022-accelerating-action-to-stop-obesity>
- [2] W. Akeplakorm, H. Pakcharoen and W. Satheannoppakao, Report of the 6th Thai health survey by physical examination 2019-2020, Graphic and design publishing house, 2021 (in Thai)
- [3] M. Guan-sheng, L. De-chun, L. Ai-ling, L. Yan-ping, and C. Zhao-hui, “The relation between physical activity level and overweight-obesity among Chinese professionals,” *Acta Nutrimenta Sinica*, vol. 29, pp.426-430, 2007.
- [4] R. S. Chan and J. Woo, “Prevention of overweight and obesity: how effective is the current public health approach,” *Int J Environ Res Public Health*, vol.7, no.3, pp.765-783, 2010.
- [5] M. A. Martínez-González, J. A. Martínez, F. B. Hu, M. J. Gibney and J. Kearney, “Physical inactivity, sedentary lifestyle and obesity in the European Union,” *Int J Obes Relat Metab Disord*, vol.23, no.11, pp.1192-1201, 1999.
- [6] X. Zhang, Z. Sun, X. Zhang, L. Zheng, S. Liu, C. Xu, et al, “Prevalence and associated factors of overweight and obesity in a Chinese rural population,” *Obesity (Silver Spring)*, vol.16, no.1, pp.168-171, 2008.
- [7] National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. (2023, Jan. 04). “Health risks of overweight & obesity” [Online]. Available: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/weight-management/adult-overweight-obesity/health-risks>
- [8] Thai health report working group. (2023, Jan. 04). “Physical Activity: How much is enough? (Part 1)” [Online]. Available: https://www.thaihealthreport.com/th/articles_detail.php?id=133 (in Thai)
- [9] H. Guo, C. Ding, F. Yuan, Y. Zhang, Z. Chen and A. Liu, “Sedentary behavior during leisure time and social determinants among Chinese adults in 2010-

- 2012,” *Journal of Hygiene Research*, vol.46, no.5, pp.699-704, 2017.
- [10] M. Ki, T. Pouliou, L. Li and C. Power, “Physical (in)activity over 20 y in adulthood: associations with adult lipid levels in the 1958 British birth cohort,” *Atherosclerosis*, vol.219, no.1, pp.361-367, 2011.
- [11] W. Saiphroonthong, C. Choaksuwankij and A. Chaimanee, “The association between sedentary work and obesity among medical personnel in Nopparat Rajathane Hospital,” *The Public Health Journal of Burapha University*, vol.10 no.2, pp.34-43, 2015. (in Thai)
- [12] M. Hrusun and S. Chaiklieng, “Ergonomic risk assessment in university office workers,” *KKU Res. J.*, vol.19, no.5, pp.696-707, 2014. (in Thai)
- [13] J. G. Van Uffelen, J. Wong, J. Y. Chau, H. P. Van Der Ploeg, I. Riphagen, N.D. Gilson, ... & W. J. Brown, “Occupational sitting and health risks: a systematic review. *American Journal of Preventive medicine*,” vol.39, no.4, pp.379-388, 2010.
- [14] R. Ayiesah, J. H. Leonard, P. Vijaykumar and R. Mohd Suhaimy, “Obesity and habitual physical activity level among staffs working in a military hospital in Malacca, Malaysia,” *IMJM*, vol.12, no.1, pp.53-57, 2013.
- [15] F. Y. Hsieh, D. A. Bloch and M. D. Larsen, “A Simple Method of Sample Size Calculation for Linear and Logistic Regression,” *Statist. Med.*, vol.17, no.1, pp.1623-1634, 1998.
- [16] Department of Health, Ministry of Public Health. (2023, Feb. 03). “The Ministry of Public Health supports the ‘working age-elderly’ campaign, waist circumference must not exceed the height divided by two” [Online]. Available: <https://www.anamai.moph.go.th/th/news-anamai/43150>
- [17] World Health Organization, The Asia-Pacific perspective: redefining obesity and its treatment, Sydney: Health Communication Australia, 2000.
- [18] P. Rattanawiwatpong, A. Khunphasee, C. Pongursorn and P. Intarakamhang, “Validity and Reliability of the Thai Version of Short Format International Physical Activity Questionnaire (IPAQ),” *J Thai Rehabil*, vol.16, no.3, pp.147-160, 2006. (in Thai)
- [19] IPAQ Research Committee. (2021, Dec. 27). “Guidelines for data processing and analysis of the international physical activity questionnaire (IPAQ) -Short and long forms” [Online]. Available: www.ipaq.ki.se.
- [20] H. P. van der Ploeg, T. Chey, R. J. Kord, E. Banks and A. Bauman, “Sitting time and all cause mortality risk in 222 497 Australian adults,” *Arch Intern Med.*, vol.172, no.1, pp.494-500, 2012.
- [21] F. Yuan, W. Gong, C. Ding, H. Li, G. Feng, Y. Ma, J. Fan, C. Song and A. Liu, “Association of physical activity and sitting time with overweight/obesity in Chinese occupational population,” *Obesity Fact*, vol.14, no.1, pp.141-147, 2021.
- [22] A. Linoby, M. A. N. Jumat, A. S. Nordin, N. H. A. Za’don, J. Kusrin and S. M. Syed, “Acute moderate and high-intensity endurance exercise suppresses *Ad-libitum* energy intake in obese male,” *Pertanika J. Sci. & Technol*, vol.28, no.1, pp.279-292, 2020.
- [23] H. Guo, C. Ding, F. Yuan, Y. Zhang, Z. Chen and A. Liu, “Sedentary behavior during leisure time and social determinants among Chinese adults in 2010-

- 2012,” *Wei Sheng Yan Jiu*, vol.46, no.5, pp.699-704, 2017.
- [24] V.E. Bullock, P. Griffiths, L. B. Sherar, S. A. Clemes, “Sitting time and obesity in a sample of adults from Europe and the USA,” *Ann Hum Biol*, vol.44, no.3, pp.230-236, 2017.
- [25] C-X. Xu, H-H. Zhu, L. Fang, R-Y. Hu, H. Wang, M-B. Liang, J. Zhang, F. Lu, Q-F. He, L-X. Wang, X-Y. Chen, X-F. Du, M. Yu and J-M Zhong, “Gender disparity in the associations of overweight/obesity with occupational activity, transport to/from work, leisure-time physical activity, and leisure-time spent sitting in working adults: A cross-sectional study,” *Journal of Epidemiology*, vol.27, no.9, pp.401-407, 2017.
- [26] R. Guthold, G. A. Stevens, L. M. Riley and F. C. Bull, “Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants,” *The Lancet Global Health*, vol.6, no.10, pp. e1077-1086, 2018.
- [27] P. Katewongsa, D. A. Widyastari, P. Saonuan, N. Haemathulin and N. Wongsingha, “The effects of the COVID-19 pandemic on the physical activity of the Thai population: evidence from Thailand’s surveillance on physical activity 2020,” *Journal of sport and health science*, vol.10, no.3, pp.341-348, 2021.
- [28] Y. Y. Chan, K. K. Lim, K. H. Lim, C. H. The, C. C. Kee, S. M. Cheong, Y. Y. Khoo, A. Baharudin, M. Y. Ling, M. A. Omar and N. A. Ahmad, “Physical activity and overweight/obesity among Malaysian adults: findings from the 2015 National Health and morbidity survey (NHMS),” *BMC Public Health*, vol.17, no.1, pp.1-12, 2017.
- [29] A. A. B. H. Zainuddin, “Prevalence and socio-demographic determinant of overweight and obesity among Malaysian adult,” *International Journal of Public Health Research*, vol.6, no.1, pp.661-669, 2016.
- [30] A. Kanjanapibulwong, P. Khumwansaga and S. Keawta [editors], “Report of non-communicable diseases (NCDs) situation: diabetes mellitus, hypertension, and other factors related to the NCDs in 2019,” Bangkok: Aksorngraphic design; 2020. p.20-21.
- [31] A. M. Sibai, C. Costanian, R. Tohme, S. Assaad and N. Hwalla, “Physical activity in adults with and without diabetes: from the ‘high-risk’ approach to the ‘population-based’ approach of prevention,” *BMC Public Health*, vol.13, no.1002, pp. 1-8, 2013.
- [32] A. Bauman, B. E. Ainsworth, J. F. Sallis, M. Hagströmer, C. L. Craig, F. C. Bull, M. Pratt, K. Venugopal, J. Chau, M. Sjöström and IPS Group, “The descriptive epidemiology of sitting: a 20-country comparison using the international physical activity questionnaire (IPAQ),” *Am J Prev Med*, vol.41, no.2, pp.228-235, 2011.
- [33] World Health Organization, Global Recommendations on Physical Activity for Health, Geneva: World Health Organization, 2010.
- [34] Centers for Disease Control and Prevention. (2022, Jan. 06). “Physical Activity for a Healthy Weight” [Online]. Available: https://www.cdc.gov/healthyweight/physical_activity/

- [35] P. T. Katzmarzyk, T. S. Church, C. L. Craig and C. Bouchard, "Sitting time and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol.41, no.1, pp.998-1005, 2009.
- [36] C. Powell, M. P. Herring, K. P. Dowd, A. E. Donnelly and B. P. Carson, "The cross-sectional associations between objectively measured sedentary time and cardiometabolic health markers in adults – a systematic review with meta-analysis component," *Obes Rev.*, vol.19, no.3, pp.381-395, 2018.
- [37] S. Sriramatr, *Physical Activity for Wellness*, Chulalongkorn Press, Bangkok, 2014.
- [38] E. Suliga, E. Cieřła, D. Reębak, D. Kozieł and S. Głuszek, "Relationship between sitting time, physical activity, and metabolic syndrome among adults depending on body mass index (BMI)," *Med Sci Monit*, vol.24, no.1, pp.7633-7645, 2018.
- [39] P. A. Gardiner, G. N. Healy, E. G. Eakin, B. K. Clark, D. W. Dunstan, J. E. Shaw, ... & N. Owen, "Associations between television viewing time and overall sitting time with the metabolic syndrome in older men and women: The Australian Diabetes, Obesity and Lifestyle study," *J Am Geriatr Soc*, vol.59, no.5, pp.788-796, 2011.
- [40] R. Maphong, K. Khumsingsan and S. Sriramatr, "Physical activity, sedentary behavior, sleep duration and sleep quality of undergraduate student," *Journal of sport science and health*, vol.17, no.2, pp.84-98, 2016 (in Thai)

ประวัติผู้ประพันธ์ :



กุลธิดา บรรจงศิริ

การศึกษา: Ph.D. (Environmental Engineering)

งานวิจัยที่สนใจ: การควบคุมมลพิษการติดตามตรวจสอบ

คุณภาพสิ่งแวดล้อม การจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน และอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ



วรัช นาคแป้น

การศึกษา: Ph.D. Environmental Health (Industrial Hygiene)

งานวิจัยที่สนใจ: อาชีวอนามัยและความปลอดภัย



ศรดา จิรัฐกุลธนา

การศึกษา: M.Sc. Human Factors and Ergonomics

งานวิจัยที่สนใจ: การยศาสตร์ ปัจจัยมนุษย์ อาชีวอนามัยและ

ความปลอดภัย



อรยา ประเสริฐชัย

การศึกษา: Ph.D. (Research for Health Development Program)

งานวิจัยที่สนใจ: Public health, Population (mortality, morbidity,

life expectancy), Elderly, Chronic disease



ปธานิน แสงอรุณ

การศึกษา: วท.ด. (วิทยาศาสตร์

สิ่งแวดล้อม)

งานวิจัยที่สนใจ: Waste

Management and Utilization ,

Occupational Health and Safety



พรสวัสดิ์ ศรีสวัสดิ์

การศึกษา: Ph.D. (Global

Environmental Health Sciences)

งานวิจัยที่สนใจ: การจัดการ

มลพิษอุตสาหกรรม อนามัย

สิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย



อัญญา ประดิษฐปรีชา

การศึกษา: สาธารณสุขศาสตร-

คุณุภัณฑ์

งานวิจัยที่สนใจ: สาธารณสุข

ชุมชน โภชนาการชุมชน วิทยาการระบาด และปรสิต

วิทยา

การพัฒนาแบบจำลองคุณภาพน้ำอย่างง่ายเพื่อคาดการณ์ศักยภาพการรองรับ มลพิษของกลุ่มน้ำท่าจีน

Development of a Simple Water Quality Modeling for Pollution Load Carrying Capacity of Tha Chin River Basin

พานุวัฒน์ แตระกุล, พลภัทร อรัญกานนท์, วฐา ยงสมิทธิ์ และ ปิยชัย ชัยลือรัตน์

Panuwat Taerakul, Palapatra Aranyakananda, Vatha Yongsmitth, and Piyachai Chailoratan

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

หนองแขม กรุงเทพมหานคร

พานุวัฒน์ แตระกุล : panuwatt@sau.ac.th

วันที่รับบทความ: 27 พฤศจิกายน 2565 / วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 1 : 17 กุมภาพันธ์ 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 10 มีนาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 2 : 9 มีนาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 3 : 9 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างวิธีการประเมินศักยภาพการรองรับมลพิษที่มีความสะดวกในการดำเนินงาน สามารถรวบรวมข้อมูลได้ง่าย ในการดำเนินงานในครั้งนี้ใช้ค่าออกซิเจนละลายน้ำเป็นตัวแปรในการเปรียบเทียบระดับวิกฤตที่สามารถยอมให้มีการระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิด เพื่อให้การดำเนินงานมีความสะดวกรวดเร็ว กำหนดให้ใช้จุดศูนย์กลางของจังหวัดเป็นตัวแทนในการระบายมลพิษทั้งจังหวัด และใช้ตำแหน่งอ้างอิงซึ่งเป็นจุดที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยในรายงานการสำรวจรายไตรมาส มาใช้เป็นจุดเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน ผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้แนวทางการประเมินอย่างง่ายเพื่อหาศักยภาพการรองรับมลพิษระดับจังหวัดได้ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าจังหวัดนครปฐมมีการระบายมลพิษสูงสุดแต่ยังมีความสามารถในการรองรับมลพิษ และในทางตรงกันข้ามจังหวัดชัยนาทมีการระบายมลพิษต่ำที่สุดในกลุ่มน้ำท่าจีน แต่ไม่สามารถรองรับมลพิษได้เพิ่มอีกเนื่องจากอยู่ในพื้นที่ที่ใช้เกณฑ์คุณภาพแหล่งน้ำผิวดินระดับสูงกว่าของจังหวัดนครปฐม

คำสำคัญ : ศักยภาพการรองรับมลพิษ, การระบายมลพิษ, ออกซิเจนละลายน้ำ, บีโอดี

Abstract The objective of this study is to construct a method to estimate carry capacity which is convenient to process and collect information. To simplify the process, this study uses centroid of a province as a point of the whole provincial pollution discharge, and uses a reference point, showing the lowest level of dissolved oxygen in quarterly sampling report, for comparable levels of surface water quality standards. Results indicate that this method is feasible for evaluating provincial pollution load carrying capacity. It also shows that

Nakornpathom has the highest level of pollution discharge, but still has capacity to handle more pollution in its area. In the other hand, Chainat shares the lowest level of pollution discharge in Tha chin river basin, but it does not have any capacity to handle more discharge due to its location at a higher surface water quality standard than that of Nakornpathom.

Keywords: Carrying capacity, pollution discharge, dissolved oxygen, biological oxygen demand

1. บทนำ

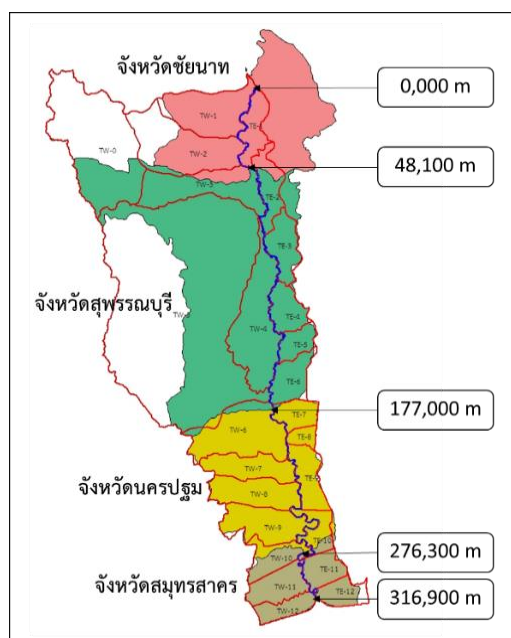
ในการดำเนินงานเพื่อกำหนดศักยภาพการรองรับมลพิษ หรือ Pollution Load Carrying Capacity (CC) ซึ่งเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบความจุของกลุ่มประชากรทางชีวภาพ ที่สภาพแวดล้อมของประชากรเหล่านั้นกับความสามารถในการรองรับมลพิษ เพื่อประเมินปริมาณสูงสุดของประชากรในระบบ ที่ยังคงสามารถสมดุลกับสภาพแวดล้อม ซึ่งในกรณีนี้ CC สามารถเชื่อมโยงกับ ปริมาณมลพิษหรือความสกปรกในรูปแบบบีโอดี (BOD) ที่แหล่งน้ำสามารถรองรับได้ หรือ Total Maximum Daily Load (TMDL) โดยปริมาณ TMDL นี้สามารถกำหนดไว้สำหรับการระบายมลพิษของแหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งมีหน่วยตั้งแต่ระดับ สถานีประกอบการ หรือกลุ่มของสถานประกอบการ เช่น เขตอุตสาหกรรม หรือ ในระดับพื้นที่เช่น ตำบล อำเภอ จังหวัด เป็นต้น TMDL นี้ยังสามารถนำมาใช้ในการกำหนดปริมาณมลพิษสูงสุดเพื่อบังคับใช้ทางกฎหมาย (Pollution Permits) เพื่อควบคุมปริมาณมลพิษรวมของแหล่งน้ำธรรมชาติให้อยู่ในสมดุลที่ไม่เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม แต่การนำมาใช้ยังมีความสลับซับซ้อนในแง่ของปริมาณที่จะไม่เท่ากัน ณ สถานที่ต่าง ๆ แม้ว่าจะเป็นแหล่งกำเนิดที่มีลักษณะเดียวกัน ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบจะต้องดำเนินการให้มีความสอดคล้องกับกฎหมายต่าง ๆ และมีความยุติธรรม

อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานเพื่อประเมินคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง มีความจำเป็นต้องอาศัยแหล่งข้อมูลจำนวนมากเนื่องจาก ในพื้นที่ต่าง ๆ ที่ระบาย

มลพิษมีลักษณะหรือความผันแปรไปตามการพื้นที่ที่มีการรวบรวมน้ำหรือการระบายน้ำร่วมกันหรือเรียกว่า กลุ่มน้ำย่อย และความผันแปรนี้มีผลต่อปริมาณการระบายและคุณภาพน้ำเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นกลุ่มพื้นที่ที่มีการรวบรวมน้ำจากพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่แหล่งระบายน้ำรวม เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ เป็นต้น ลักษณะของพื้นที่กลุ่มน้ำย่อย จะเป็นไปตามลักษณะภูมิประเทศซึ่งอาจมีความแตกต่างกับ พื้นที่เขตการปกครอง ซึ่งในกรณีนี้มีผลต่อการบริหารจัดการคุณภาพน้ำเป็นอย่างมาก การบริหารจัดการโดยใช้กฎหมายลักษณะพื้นที่ของเขตการปกครองที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำ จะสามารถดำเนินการได้เฉพาะพื้นที่ที่อยู่ในขอบเขตปกครองนั้น ๆ แต่ลำน้ำสาธารณะเป็นเสมือนเส้นทางที่เชื่อมต่อกัน แหล่งกำเนิดมลพิษที่อยู่ต้นน้ำจะทำให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำในพื้นที่ปลายน้ำซึ่งอยู่ในเขตการปกครองที่ต่างกัน การดำเนินงานเพื่อแก้ไขคุณภาพน้ำจะไม่สามารถดำเนินการได้ โดยมิได้มีการร่วมพิจารณาถึงเขตการปกครองอื่น ๆ ที่เป็นส่วนแบ่งพื้นที่กลุ่มน้ำย่อยเดียวกัน ในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีกลุ่มน้ำย่อยมากมายซึ่งจะระบายมลพิษพร้อม ๆ กันลงสู่แหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ มลพิษเหล่านี้จะมีการเคลื่อนที่ไปตามแม่น้ำ และมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกระบวนการทางชีวภาพ และมีผลกระทบต่าง ๆ จากสิ่งแวดล้อม เช่น ความเร็วกระแสน้ำ ลักษณะของท้องน้ำ อุณหภูมิ แสงแดด สิ่งมีชีวิต พืชน้ำ ฯลฯ ปัจจุบันมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถรวบรวมตัวแปรต่าง ๆ และคิดคำนวณคุณภาพน้ำ จนถึงประเมิน TMDL ได้ แต่ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ทั้งเรื่องข้อมูลตัวแทนคุณภาพน้ำ และแบบจำลองการไหลที่แม่นยำ ข้อมูล

เหล่านี้ต้องเป็นตัวแทนในสภาวะวิกฤต และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาจเปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์ต่าง ๆ ตามธรรมชาติ ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองคุณภาพน้ำอย่างง่ายที่สามารถคาดการณ์สภาวะวิกฤต และรายงานผล CC ในระดับจังหวัดของกลุ่มน้ำท่าจีน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานควบคุมตรวจสอบคุณภาพน้ำ และเพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบการดำเนินงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป



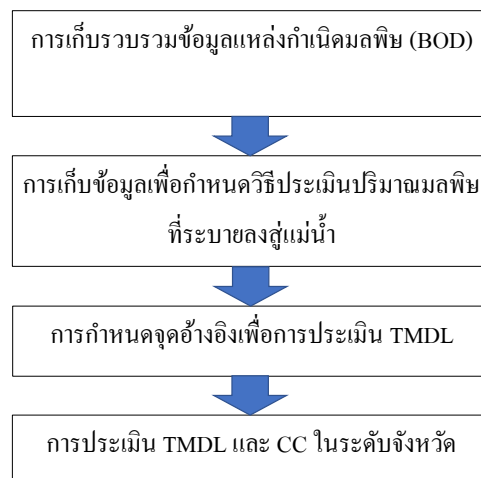
รูปที่ 1 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย

และขอบเขตของกลุ่มแม่น้ำท่าจีน [1]

2. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาในครั้งนี้มีกระบวนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนคือ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษในรูปแบบข้อมูลทุติยภูมิ 2) การเก็บข้อมูลเพื่อกำหนดวิธีการประเมินมลพิษที่ระบายลงสู่แม่น้ำ 3) การกำหนดจุดอ้างอิงเพื่อการประเมิน TMDL

และ 4) การประเมิน TMDL และ CC ในระดับจังหวัดดังแสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการในการดำเนินงานเพื่อประเมิน TMDL และ CC

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษ

โดยทั่วไปการเคลื่อนตัวของมลพิษในพื้นที่ย่อยต่าง ๆ จะสามารถเคลื่อนที่ได้ตามลักษณะของลำน้ำที่มีการเชื่อมต่อภายในเขตพื้นที่ย่อย ระบบคลองต่าง ๆ ที่มีการเชื่อมต่อถึงกันจะมีการส่งผ่านมลพิษมาสู่ลำน้ำหรือคลองสายหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่รองรับมลพิษ และส่งผ่านไปยังแม่น้ำ โดยแหล่งกำเนิดมลพิษ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดที่แน่นอน (Point Source) เช่น ชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม ฟาร์มปศุสัตว์ และ แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอน (Non-Point Source) เช่น พื้นที่เกษตรกรรม (นาสวน เพาะเลี้ยงสัตว์) รวมพื้นที่ป่าไม้ โดยแหล่งกำเนิดมลพิษเหล่านี้ มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติทั้งที่ผ่านการบำบัดและไม่ผ่านการบำบัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ แหล่งกำเนิดที่สำคัญคือ แหล่งกำเนิด Point Source [2] เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิด

ที่มีการระบายมลพิษอย่างต่อเนื่องมีการสร้างอาคารไหลจากแหล่งกำเนิดด้วยกิจกรรมของแหล่งกำเนิดเองและเป็นกิจกรรมอื่นเนื่องมาจากความต้องการในการดำเนินชีวิตของมนุษย์และมีความผันแปรกับจำนวนประชากรนั่นเอง แหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญชนิดต่าง ๆ ได้แก่

แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดระบายแน่นอน

2.1.1 น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของประชากรที่อาศัยอยู่ในชุมชน เช่น การใช้น้ำเพื่อการชำระล้างร่างกายน้ำใช้ในครัวเรือน เป็นต้น โดยในการศึกษาข้อมูลเพื่อหาปริมาณและภาระบรรทุกของเสียจากแหล่งกำเนิดประชากรที่เหมาะสมนั้น ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับจำนวนประชากร ซึ่งสามารถรวบรวมลักษณะของประชากรในเขตการปกครองต่างๆ จากข้อมูลของกรมการปกครอง [3] คูณด้วยปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อคนต่อวัน ซึ่งประเมินจากความต้องการใช้น้ำ [4,5] ส่วนภาระบรรทุกของเสียหรือปริมาณความสกปรกในรูปแบบ BOD จะมีค่าเท่ากับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นคูณด้วยค่าความเข้มข้นของสารนั้น ๆ สำหรับการหาค่าของปริมาณน้ำเสียและปริมาณความสกปรกที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องทราบปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นต่อคนต่อวัน และค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ซึ่งปริมาณความสกปรกสำหรับลักษณะประชากรในเขตการปกครองต่าง ๆ ได้นำมาสรุปไว้ในรูปแบบต่อจำนวนประชากรดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

2.1.2 น้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม

ในการประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม จะมีความถูกต้องและแม่นยำขึ้นอยู่กับข้อมูลพื้นฐานของโรงงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน และการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับค่าจริง โดยแต่ละประเภทประกอบกิจการที่แตกต่างกัน จึงทำให้กระบวนการผลิตภายใน

โรงงานแต่ละประเภท ก่อให้เกิดน้ำเสียที่มีลักษณะแตกต่างกันด้วย สำหรับแนวทางการประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมมีอยู่หลายวิธี เช่น การประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมจากพื้นที่โรงงาน การประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมจากแรงม้า และการประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมจากแรงม้าร่วมกับกำลังการผลิต [5]

ตารางที่ 1 การประเมินความสกปรกจากน้ำเสียชุมชน [4,5]

เขตการปกครอง	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร/คน/วัน)	ความสกปรก (BOD) (กก./ลิตร)	อัตราส่วนน้ำทิ้งต่อน้ำใช้ (กก./วัน/คน)	ปริมาณความสกปรก
เทศบาลนคร	216	120	0.9	0.0233
เทศบาลเมือง	200	120	0.9	0.0216
เทศบาลตำบล	110	120	0.9	0.0119
นอกเขตเทศบาล	50	120	0.9	0.0054

สำหรับวิธีการประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมจากแรงม้าร่วมกับกำลังการผลิต เป็นวิธีคำนวณที่ประเมินจากข้อมูลพื้นฐานของโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วย จำนวนแรงม้าของโรงงาน กำลังการผลิต และอัตราการใช้น้ำต่อแรงม้า อัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิต จำนวนชั่วโมงการทำงาน และค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water usage efficiency) (เป็นค่าของเปอร์เซ็นต์การใช้น้ำเต็มศักยภาพหรือ 100% ลบด้วยค่าของเปอร์เซ็นต์ของน้ำที่โรงงานสามารถประหยัดได้) ซึ่งแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 วิธี คือ การวิเคราะห์การใช้น้ำอุตสาหกรรมจากจำนวนแรงม้า (Industrial water demand per horse power, WDIND) และอัตราการใช้ต่อแรงม้า และการวิเคราะห์ความต้องการใช้น้ำจากกำลังการผลิต และอัตราการใช้น้ำต่อหน่วยผลิต ดังแสดงความสัมพันธ์ไว้ในสมการที่ 1, ดัดแปลงจากแนวทางการประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมสำหรับประเทศไทย โดยสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย [5] จากสมการดังกล่าวสามารถคำนวณปริมาณความสกปรกได้และแสดงเป็นตัวอย่างไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประเมินความสกปรกจากโรงงานอุตสาหกรรม, คัดแปลงจาก [6]

ประเภท โรงงาน	เวลา ทำงาน (ชม.)	จำนวนวัน ทำงานต่อปี (วัน)	ความสามารถ		ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./แรงแม้/วัน)	ความสกปรก (BOD) (มก./ลิตร)	อัตราส่วน น้ำทิ้ง ต่อน้ำใช้	ปริมาณความ สกปรก (กก./วัน/แรงแม้)
			อัตราการใช้น้ำ	ในการ ประหยัคน้ำ				
			(ลบ.ม./วัน/แรงแม้)	(%)				
1	24	261	0.082	5	0.056	20	0.9	0.0010
2	24	261	0.082	5	0.056	20	0.9	0.0010
3	24	261	0.000	5	0.000	20	0.9	0.0000
4	24	261	0.320	12.1	0.201	20	0.9	0.0036
107	24	261	0.145	5	0.099	20	0.9	0.0018

$$Q_{ind} = Q_{HP} \times HP \times (HR/24) \times D \times (1-\%WSA) \quad (1)$$

โดย

Q_{ind} คือ อัตราการใช้น้ำ (ลบ.ม./วัน/ปี)

Q_{HP} คือ อัตราการใช้น้ำต่อจำนวนแรงแม้ต่อวัน

HP คือ จำนวนแรงแม้ทั้งหมดของโรงงาน

HR คือ จำนวนชั่วโมงทำงานต่อวัน

D คือ จำนวนวันทำงานต่อปี

$\%WSA$ คือ ประสิทธิภาพการประหยัคน้ำ

2.1.3 น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

การประเมินปริมาณความสกปรกจากฟาร์มปศุสัตว์ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอกและโรงเรือนปศุสัตว์ การขับถ่ายของเสีย การระบายความร้อน เช่น การฉีดพรม การติดตั้งระบบสเปรย์น้ำ หรือระบบน้ำหยด รวมทั้งน้ำเสียจากการรั่วไหล นอกจากนี้ ปริมาณและลักษณะน้ำเสียยังขึ้นกับการจัดการฟาร์มของเกษตรกรผู้เลี้ยงปศุสัตว์อีกด้วย เช่น การจัดการทำความสะอาดมูลสัตว์ในพื้นที่ก่อนการฉีดล้างคอกเพื่อลดความสกปรกของน้ำเสีย [1] ตารางที่ 3 แสดงการประเมินปริมาณความสกปรกจากฟาร์มปศุสัตว์

แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดระบายไม่แน่นอน

2.1.4 น้ำเสียจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน

น้ำเสียที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม เช่น นา สวน เพาะเลี้ยงสัตว์ รวมถึงพื้นที่ป่าไม้หรือพื้นที่รกร้าง โดยลักษณะการก่อมลพิษนั้นเกิดขึ้นจากการถูชะล้างด้วยน้ำฝนและไหลบ่าทางหน้าดิน (Rainfall runoff) หรือเกิดจากการระบายน้ำออกจากพื้นที่ทางการเกษตร ซึ่งค่าความสกปรกนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของพืชที่เพาะปลูก ลักษณะของพื้นที่การเกษตร (ร่องสวน พื้นที่ไร่) และประเภทของสารกำจัดศัตรูพืช ปุ๋ย หรือสารเคมีต่าง ๆ สำหรับค่าความสกปรกของพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์ขึ้นอยู่กับประเภทของสัตว์ ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่ตกค้างจากเศษอาหารและของเสียที่เกิดจากการขับถ่ายของสัตว์ ค่าความสกปรกจะถูกสะสม จนกระทั่งมีฝนตกลงมาความสกปรกดังกล่าว จะไหลลงสู่ลำน้ำบางส่วนและเหลือไว้บางส่วน หากไม่มีฝนตกต่อความสกปรกก็จะเริ่มสะสมต่อ หรือหากฝนมีปริมาณมาก ความสกปรกก็จะไหลออกมาก และเหลือความสกปรกที่จะไหลออกน้อยหากมีฝนตกในครั้งต่อไป

ตารางที่ 3 การประเมินความสกปรกจากฟาร์มปศุสัตว์ [1]

ชนิดปศุสัตว์	ปริมาณการใช้น้ำ (ลิตร/ตัว/วัน)	ความสกปรก (BOD) (มก./ลิตร)	อัตราส่วน น้ำที่ต่อ น้ำใช้	ปริมาณความสกปรก (กก./วัน/ตัว)
สุกร	24	3,500	0.9	0.0756
สัตว์ปีก	3	93	0.9	0.0003
โค กระบือ	80	19,600	0.9	1.4112
แพะ แกะ	15	4,667	0.9	0.0630

เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นบนที่ดินเกิดจากการชะล้างความสกปรกจากผิวดิน จึงต้องใช้ค่า C_v สำหรับประเมินปริมาณน้ำฝนชะล้างหน้าดินที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในพื้นที่ของแหล่งกำเนิดประเภท Non-Point Source สำหรับการประเมินสภาพการจัดการดินเพื่อเพาะปลูกพืชในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การปลูกพืชเป็นแถวใช้แทนค่า C_v ของพืชไร่ ไม้ผล/ไม้ยืนต้นและสวนผัก ส่วนการปลูกพืชเป็นเมล็ดใช้แทนค่า C_v ของนาข้าว [7]

สำหรับการเลือกใช้ลักษณะของกลุ่มดิน เพื่อประกอบการคัดเลือกค่า C_v ร่วมกับลักษณะการเพาะปลูกพืชจำนวนดินออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่ม A สำหรับ ดินทราย ดินร่วนปนทราย กลุ่ม B สำหรับ ดินร่วน กลุ่ม C สำหรับ ดินผสมระหว่างดินร่วน ดินเหนียว และดินทราย และ กลุ่ม D สำหรับ ดินเหนียวปนดินร่วน ดินเหนียว ข้อมูลค่า C_v สำหรับ กลุ่มดินชนิดต่าง ๆ และลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินสรุปไว้ในตารางที่ 4

ข้อมูลจากตารางที่ 4 จะนำไปใช้ในการคำนวณอัตราการไหลของน้ำชะหน้าดินเมื่อน้ำฝน โดยปริมาณน้ำฝนนี้บางส่วนจะซึมลงดิน และบางส่วนจะไหลผ่านหน้าดินและรวบรวมความสกปรกที่หน้าดินลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ตารางที่ 5 ได้สรุปปริมาณความสกปรกของแหล่งกำเนิดประเภท Non-Point Source ต่อปริมาณน้ำฝนเป็นมิลลิเมตร และต่อพื้นที่เป็นจำนวนไร่

ตารางที่ 4 ค่า C_v แยกตามกลุ่มดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน [7]

แหล่งกำเนิดประเภท	ค่า C_v สำหรับกลุ่มดิน
Non-Point Source	A B C D
นาข้าว	0.35 0.4 0.45 0.5
เกษตรกรรม สวนผัก	0.55 0.65 0.7 0.75
สวนผลไม้	0.55 0.65 0.7 0.75
ชุมชน ชุมชนชนบท	0.3 0.4 0.45 0.5
แหล่ง ป่าไม้	0.04 0.1 0.13 0.14
ธรรมชาติ พืชหญ้าและพื้นที่ว่างเปล่า	0.1 0.2 0.25 0.3

ตารางที่ 5 การประเมินความสกปรกจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภท Non-Point Source [1-7]

แหล่งกำเนิดประเภท	ค่า BOD	ปริมาณความสกปรก (กก./วัน/มม./ไร่)				
Non-Point Source	(mg/l)	A	B	C	D	
นาข้าว	2.4	0.00134	0.00154	0.00173	0.00192	
เกษตรกรรม	สวนผัก	1.1	0.00097	0.00114	0.00123	0.00132
	ผลไม้	1.1	0.00097	0.00114	0.00123	0.00132
ชุมชน	ชุมชน	4	0.00192	0.00256	0.00288	0.0032
แหล่ง	ป่าไม้	0.5	3.2E-05	0.00008	0.0001	0.00011
ธรรมชาติ	ทุ่งหญ้า และพื้นที่	0.5	0.00008	0.00016	0.0002	0.00024

ความสกปรกจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดที่แน่นอนและแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีจุดกำเนิดไม่แน่นอนของพื้นที่ต่าง ๆ ในลุ่มน้ำท่าจีน ที่ได้จากการคำนวณจะนำมารวมกันเป็นข้อมูลในระดับพื้นที่เป็นรายตำบลเพื่อความสะดวกในการจัดทำข้อมูลไปสู่การรวบรวมมลพิษในระดับจังหวัด โดยการรวบรวมข้อมูลหุตุยภูมิ เช่น จำนวนประชากรในเขตการปกครองต่าง ๆ จำนวนแรมน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ จำนวนสัตว์ชนิดต่าง ๆ จำนวนไร่ของพื้นที่เกษตร ป่าไม้ และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ [2-7] โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกรวบรวม เป็นตัวแทนของมลพิษในแต่ละลุ่มน้ำย่อยซึ่งจะถูกนำมาคำนวณและสร้างเป็นแบบจำลอง

คุณภาพน้ำในคลองระบายของกลุ่มน้ำย่อย แสดงให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณความสกปรกก่อนจะไหลลงสู่แม่น้ำ

2.2 การเก็บข้อมูลเพื่อกำหนดวิธีการประเมินมลพิษที่ระบายลงสู่แม่น้ำ

มลพิษเมื่อเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงความสกปรกในรูปแบบของ BOD โดยกระบวนการทางชีวภาพที่ใช้ออกซิเจนสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการในรูปแบบปฏิกิริยาลำดับหนึ่งเสมือน (Pseudo-first order reaction) ซึ่งค่า BOD จะลดลงตามระยะเวลาที่เปลี่ยนไป เนื่องจากเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ [8,9] มลพิษจากแหล่งกำเนิดในแต่ละพื้นที่จะไปรวมตัวกันที่จุดระบายมลพิษของแต่ละกลุ่มน้ำย่อย (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1) และปริมาณความสกปรกที่จุดระบายมลพิษสามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$L_1 = L_0 e^{-kt} \quad (2)$$

โดย

L_1 คือ ความสกปรกในรูปแบบ BOD ณ จุดระบายลงแม่น้ำ (กก./วัน)

L_0 คือ ความสกปรกในรูปแบบ BOD ณ แหล่งกำเนิด (กก./วัน)

k คือ ค่าคงที่

t คือ ระยะเวลา (วินาที)

เพื่อให้การคำนวณมีความเรียบง่ายมากขึ้น กำหนดให้ความเร็วกระแสน้ำในคลอง (u) มีความเร็วเท่ากัน ดังนั้น ระยะเวลา (t) จะแปรผันตรงกับระยะทาง (S) ($t = S/u$, $t-S$) จึงสามารถเขียนสมการคำนวณค่าความสกปรกในรูปแบบ BOD ได้ดังนี้

$$L_1 = L_0 e^{-kS} \quad (3)$$

จากสมการดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสกปรกจะมีความสัมพันธ์กับระยะทาง ซึ่งคิดจากระยะทางจากจุดกึ่งกลางของแต่ละ

ตำบล ไปจนถึงจุดระบายมลพิษภายในกลุ่มน้ำย่อย แต่เนื่องจากในกลุ่มน้ำย่อยประกอบด้วยพื้นที่ตำบลจำนวนมากกว่าอยู่ด้วยกัน ทำให้สามารถจัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปสมการ ดังต่อไปนี้

$$L_1 = [L_{0T1} e^{-kST1} + L_{0T2} e^{-kST2} + \dots + L_{0Tn} e^{-kSTn}] \quad (4)$$

โดย

L_{0Tn} คือ ความสกปรกในรูปแบบ BOD ณ แหล่งกำเนิดที่ตำบล n (กก./วัน)

STn คือ ระยะทางจากแหล่งกำเนิด (ตำบล) จนถึงจุดระบายมลพิษ (เมตร)

ค่าความสกปรกในรูปแบบ BOD จากแหล่งกำเนิดแต่ละตำบลภายในกลุ่มน้ำย่อยจะเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลง และไปรวมกันที่จุดระบายมลพิษ การตรวจวัดปริมาณมลพิษที่จุดระบายด้วยการวัดความเข้มข้น BOD และอัตราการไหล จะสามารถเปรียบเทียบกับปริมาณมลพิษที่แหล่งกำเนิดและสามารถคำนวณหาค่าคงที่ k ของแต่ละกลุ่มน้ำย่อยได้

2.3 การกำหนดจุดอ้างอิงเพื่อการประเมิน TMDL

การประเมินปริมาณมลพิษหรือความสกปรกที่ระดับ TMDL จะต้องมีการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมากเพื่อที่จะจำลองการไหลของแม่น้ำซึ่งต้องใช้ตัวแปรที่เป็นมิติต่าง ๆ เช่น อัตราการไหล สภาพความชัน สภาพหน้าตัดของกลุ่มน้ำ อุปสรรคการไหลประเภทต่าง ๆ เช่น ประตุน้ำ เขื่อน เป็นต้น และการจำลองคุณภาพน้ำซึ่งมีตัวแปรมากมาย เช่น คุณภาพน้ำในปัจจุบัน อัตราการไหลของแม่น้ำ คลอง อัตราการไหลมลพิษจากแหล่งกำเนิด วัชพืชในแม่น้ำ ระดับแสงแดด ปริมาณจุลินทรีย์ ค่าออกซิเจนละลายน้ำหรือ DO สารชนิดอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อการศึกษาของจุลินทรีย์ในน้ำ เป็นต้น ดังนั้น การเตรียมเพื่อการประเมิน TMDL จึงมีความจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรและเวลาจำนวนมาก ดังนั้นการศึกษาในครั้ง

นี้จึงได้กำหนดวิธีการประเมินอย่างง่ายที่ช่วยให้ผู้ปฏิบัติสามารถดำเนินการในเบื้องต้นเพื่อให้ได้ทราบข้อมูลมาเปรียบเทียบและใช้งานในเบื้องต้น และสามารถคาดการณ์หรือประเมินความแม่นยำของการดำเนินงานอย่างเต็มรูปแบบในภายหลังได้

การประเมินแบบง่ายนี้ใช้ค่า DO ที่เปลี่ยนไปเนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์เพื่อใช้ในข้อสงสัยความสกปรก และเปรียบเทียบกับค่า DO ที่กำหนดเป็นค่าคุณภาพน้ำผิวดิน ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดปริมาณความสกปรกสูงสุดหรือ BOD และจะใช้เป็นค่า TMDL การจำลองการเปลี่ยนแปลงค่า DO ใช้สมการที่พัฒนาโดย Streeter & Phelps [10,11] ในการอธิบายดังสมการ

$$\sigma = \sigma_0 e^{\left(-\frac{K_a x}{U}\right)} + \frac{KC_0}{K_a - K} \left[e^{\left(-\frac{Kx}{U}\right)} - e^{\left(-\frac{K_a x}{U}\right)} \right] \quad (5)$$

โดย

C_0 คือระดับ BOD ที่ $X = 0$

σ_0 คือค่า DO ที่ลดลงจากค่าอิ่มตัวที่ $x = 0$

σ คือค่า DO ที่ลดลงจากค่าอิ่มตัวที่ $x = x$

K_a คือ reaeration coefficient

K คือ BOD constant rate

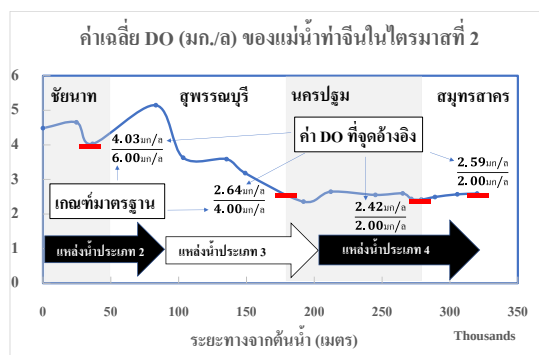
U คือความเร็วของกระแส (เมตร/วินาที)

แนวทางในการประเมิน TMDL อย่างง่ายคือการเปรียบเทียบค่า DO ที่จุดอ้างอิงซึ่งเป็นจุดวิกฤตที่มีค่า DO ต่ำสุดหรือเป็นจุดที่ค่า DO จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างอ่อนไหวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ BOD ในปัจจุบันและทดลองจนค่า DO นี้อยู่ในระดับตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดตามกฎหมาย ซึ่งคือค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน [12] แสดงไว้ในตารางที่ 8 จุดอ้างอิงนี้เป็นตำแหน่งที่ปรากฏว่าค่า DO เฉลี่ยมีระดับต่ำสุดหรือเป็นจุดที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่อการเพิ่มระดับ BOD ก็จะเป็นจุดที่อ่อนไหวที่ทำให้ค่า DO ลดลงจนมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ระดับน้ำผิวดิน รูปที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย

DO จากการสำรวจที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแม่น้ำท่าจีนของสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ

ตารางที่ 8 ค่า DO กำหนดในมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน [12]

แหล่งน้ำผิวดิน	ค่าการละลายออกซิเจน (มก./ล.)
ประเภทที่ 1	≥6
ประเภทที่ 2	≥6
ประเภทที่ 3	≥4
ประเภทที่ 4	≥2
ประเภทที่ 5	มาตรฐานต่ำกว่าประเภทที่ 4



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ย DO ที่ตำแหน่งต่าง ๆ รวมถึงตำแหน่งอ้างอิงและเกณฑ์ของแต่ละจังหวัดของแม่น้ำท่าจีน

2.4 การประเมิน TMDL และ CC ในระดับจังหวัด

เพื่อให้การคำนวณมีความเรียบง่ายมากขึ้นการกำหนดจุดระบายมลพิษของพื้นที่จังหวัดใด ๆ จะถูกกำหนดให้มีเพียงตำแหน่งเดียวคือใช้ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของจังหวัด (Centroid of Provincial Area) ปริมาณ BOD นี้จะถูกทดลองโดยใช้ สมการที่ 5 และใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำและข้อมูลทางชลศาสตร์ในปัจจุบันที่ตำแหน่งอ้างอิงผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นปริมาณ BOD (C_0 ในสมการที่ 5) ที่

สมมติให้ระบายที่จุดกึ่งกลางจังหวัด ที่ทำให้ค่า DO ที่จุดอ้างอิงเป็นไปตามเงื่อนไขในปัจจุบัน ค่า BOD นี้จะเป็นตัวแทนของค่า BOD ที่ระบายลุ่มน้ำย่อยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อจังหวัดนั้น ๆ

จากนั้นดำเนินการในลักษณะเดียวกันอีกครั้งเพื่อกำหนดค่า TMDL โดยใช้ค่า DO ที่จุดอ้างอิงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน [12]

จากการประเมินเพื่อทดลองหาค่า BOD ทั้ง 2 ครั้งจะสามารถประเมินหาค่าสัดส่วนปริมาณความสกปรกซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของค่า BOD ที่ระบายที่จุด Centroid เพื่อให้ได้ค่า DO ที่จุดอ้างอิงตามเกณฑ์ และค่า BOD ที่ทำให้ได้ค่า DO เท่ากับค่าเฉลี่ยจากการสำรวจในปัจจุบัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 ถ้าให้ค่า TMDL ที่จุดระบาย มลพิษลงสู่แม่น้ำคือ $TMDL_1$ และมีค่าดังสมการ

$$TMDL_1 = x \cdot L_1 \quad (6)$$

โดย

x คือ สัดส่วนปริมาณความสกปรก

L_1 คือ ความสกปรกในรูป BOD ณ จุดระบายลงแม่น้ำ (กก./วัน)

$$\begin{aligned} TMDL_1 &= (x) \cdot [L_{OT1} e^{-k_{ST1}} + L_{OT2} e^{-k_{ST2}} + \dots + L_{OTn} e^{-k_{STn}}] \\ &= x \cdot L_{OT1} e^{-k_{ST1}} + x \cdot L_{OT2} e^{-k_{ST2}} + \dots + x \cdot L_{OTn} e^{-k_{STn}} \\ &= TMDL_{OT1} + TMDL_{OT2} + \dots + TMDL_{OTn} \quad (7) \end{aligned}$$

ดังนั้นหมายความว่าถ้าใน ทุกพื้นที่ที่มีการกระจายมลพิษในสัดส่วนเท่า ๆ กัน ปริมาณมลพิษในแต่ละ

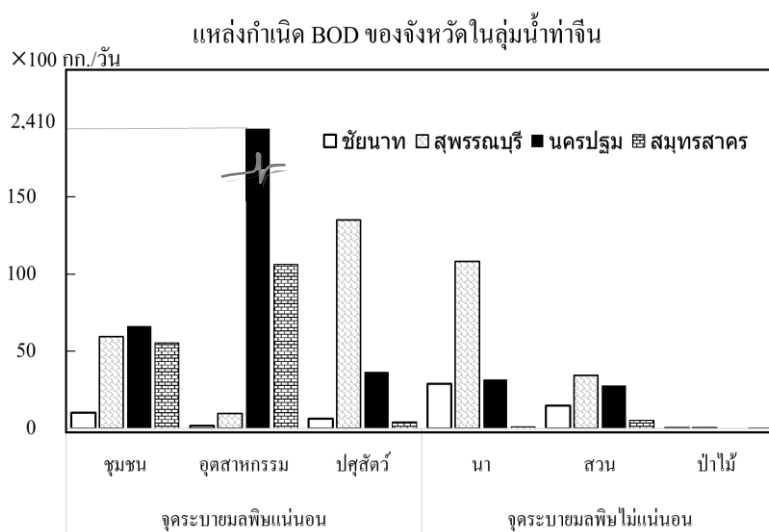
ลุ่มน้ำ (TMDL_{OTn}) จะได้รับการกระจายมลพิษ ในอัตราที่เท่า ๆ กัน TMDL_{OTn} ในระดับตำบลสามารถคำนวณได้โดยใช้สัดส่วนปริมาณความสกปรกของแต่ละจังหวัดคูณกับผลรวมของปริมาณพิษของแต่ละตำบล (L_{OTn}) ที่รวบรวมโดยการคำนวณจากหัวข้อที่ 2 และถ้ารวบรวม TMDL_{OTn} ของตำบลเหล่านี้ที่อยู่ในจังหวัดเดียวกันเข้าด้วยกัน ก็จะสามารถได้ผลลัพธ์เป็น TMDL ระดับจังหวัดได้

3. ผลลัพธ์ของการศึกษา

3.1 แหล่งกำเนิดมลพิษของกลุ่มแม่น้ำท่าจีน

จากการรวบรวมมลพิษในแต่ละตำบลของกลุ่มน้ำท่าจีนที่ระบายลงสู่คลองระบายตามลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ และลงสู่แม่น้ำท่าจีน ปริมาณมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทต่าง ๆ ของจังหวัดในกลุ่มน้ำท่าจีนนำมาแสดงไว้ในตารางที่ 9 และในรูปที่ 4

จากตารางที่ 9 และรูปที่ 4 แหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญของกลุ่มน้ำท่าจีนอยู่ในจังหวัดนครปฐม และอยู่ในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีมากถึง 257 ดันต่อวัน เฉพาะความสกปรกจากโรงงานอุตสาหกรรมของจังหวัดนครปฐมมีปริมาณมากกว่าแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ของทุกจังหวัดรวมกันถึง 4 เท่า แหล่งกำเนิดอื่นที่มีความสำคัญรองลงมาคือ ปศุสัตว์ของจังหวัดสุพรรณบุรีซึ่งมีปริมาณ 13.5 ดันต่อวัน สำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษที่มาจาก Non-point Source คือ มลพิษจากพื้นที่นาของจังหวัดสุพรรณบุรี เช่นกัน มีเพียงจังหวัดชัยนาท เพียงจังหวัดเดียวที่มลพิษจาก Point Source มีปริมาณน้อย Non-point Source



รูปที่ 4 แหล่งกำเนิดมลพิษของจังหวัดต่าง ๆ ในลุ่มน้ำท่าจีน [1-7]

ตารางที่ 9 สรุปแหล่งกำเนิดมลพิษในจังหวัดต่าง ๆ ของลุ่มน้ำท่าจีน [1-7]

จังหวัด	จำนวนประชากร (คน)	BOD รวม (กก./วัน)	จุดระบายมลพิษแน่นอน			จุดระบายมลพิษไม่แน่นอน		
			ชุมชน (กก./วัน)	อุตสาหกรรม รวม(กก./วัน)	ปศุสัตว์ (กก./วัน)	นา (กก./วัน)	สวน (กก./วัน)	ป่าไม้ (กก./วัน)
ชัยนาท	110,008	6,184	1,010	182	625	2,899	1,466	2
สุพรรณบุรี	705,707	34,754	5,961	979	13,514	10,823	3,450	27
นครปฐม	752,228	257,306	6,620	241,028	3,681	3,188	2,787	1
สมุทรสาคร	463,444	17,232	5,553	10,627	426	92	526	8

3.2 TMDL และ CC ของจังหวัดต่าง ๆ ในลุ่มน้ำท่าจีน

จากการทดสอบพบว่าค่าความสกปรกหรือ BOD ที่ใช้ทดลองเพื่อให้ได้ค่า DO ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินของจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาครมีมากกว่าค่า BOD ที่ทดลองและได้ค่า DO ตามสภาพคุณภาพน้ำในปัจจุบัน และได้สัดส่วนของค่า

ความสกปรกเท่า 1.203 และ 2.156 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่ามีความเสี่ยงในการรองรับมลพิษ ส่วนในจังหวัดชัยนาทและจังหวัดสุพรรณบุรีมีสัดส่วนปริมาณความสกปรกเท่ากับ 0.262 และ 0.714 ตามลำดับ จึงเป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถรองรับมลพิษเพิ่มขึ้นได้เพราะจะทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำมีระดับต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ตารางที่ 10 การทดสอบหา BOD เพื่อเปรียบเทียบกับค่า DO ที่กำหนด

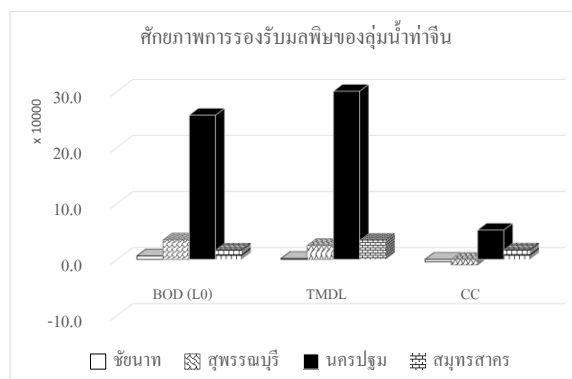
จังหวัด	สภาพแม่น้ำที่จุลระบายมลพิษ (สมมติ)			เพื่อให้ได้ DO สภาพ ปัจจุบัน		เพื่อให้ได้ DO ตาม เกณฑ์		สัดส่วน ปริมาณความ สกปรก
	ความเร็ว	DO	BOD	DO	BOD	DO	BOD	
	ม./วิ.	มก/ล	มก/ล	มก/ล	กก/วัน	มก/ล	กก/วัน	
ชัยนาท	0.180	6.00	1.78	4.03	7,018	6.00	1,837	0.262
สุพรรณ	0.280	3.59	2.60	2.64	43,454	4.00	31,009	0.714
นครปฐม	0.205	2.60	2.84	2.42	444,579	2.00	534,646	1.203
สมุทรสาคร	0.212	2.42	5.5	2.59	23,089	2.00	49,771	2.156

สัดส่วนปริมาณความสกปรกในตารางที่ 10 ได้นำไปใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่า TMDL ของแหล่งกำเนิดของแต่ละตำบลในลุ่มน้ำท่าจีน และนำไปคำนวณหาค่าศักยภาพการรองรับมลพิษของแต่ละตำบล และพบว่า จังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาคร มีความสามารถในการรองรับมลพิษเท่ากับ 52.2 ตันต่อวัน และ 17.5 ตันต่อวัน ตามลำดับ เทียบเท่ากับการรองรับประชากรในพื้นที่เท่ากับ 152,703 คน และ 475,728 คน (คำนวณจากสัดส่วนมลพิษของพื้นที่ทั้งหมดต่อจำนวนประชากรในพื้นที่ในระดับตำบล) และจังหวัดชัยนาทและสุพรรณบุรี ไม่สามารถรองรับมลพิษเพิ่มได้อีก ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ศักยภาพการรองรับมลพิษของจังหวัดต่าง ๆ ของแม่น้ำท่าจีน

จังหวัด	L ₀ กก./วัน	TMDL กก./วัน	CC กก./วัน	CC คน
ชัยนาท	6,184	1,620	-4,563	-86,580
สุพรรณบุรี	34,754	24,815	-9,940	-201,833
นครปฐม	257,306	309,539	52,233	152,703
สมุทรสาคร	17,232	34,684	17,452	475,728

จากตารางที่ 11 และรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าจังหวัดนครปฐมมีศักยภาพในการรองรับมลพิษสูงสุดและจังหวัดสุพรรณบุรีไม่มีศักยภาพในการรองรับมลพิษและมีความจำเป็นต้องปรับปรุงการระบายมลพิษจากแหล่งกำเนิดมากที่สุดเพื่อให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำมีระดับตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน



รูปที่ 5 ศักยภาพการรองรับมลพิษของจังหวัดต่าง ๆ ของแม่น้ำท่าจีน

4. สรุปผล

การศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปผลของการดำเนินงานได้ดังนี้

1) การประเมิน TMDL และ CC สามารถดำเนินการได้ด้วยวิธีการประเมินอย่างง่ายซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลได้โดยง่าย มีระบบสารสนเทศที่ให้ข้อมูลคุณภาพน้ำและชลศาสตร์อย่างเพียงพอ การดำเนินงานสามารถสามารถใช้เพียงโปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐาน เช่น ไมโครซอฟต์ เอกซ์เซล ก็สามารถดำเนินงานจนสำเร็จลุล่วงได้

2) การพิจารณา TMDL สามารถดำเนินการโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ใช้ระดับ DO เพียงค่าเดียวในการกำหนดค่า TMDL

3) การกำหนดแหล่งกำเนิดมลพิษในระดับตำบลมีความจำเป็นและมีประโยชน์ในการจัดการและนำเสนอข้อมูลในระดับพื้นที่ที่มีขอบเขตเฉพาะเช่น กลุ่มน้ำย่อย หรือ เขตการปกครอง เช่น จังหวัด ได้สะดวก

4) การรายงานผล CC สามารถดำเนินการโดยใช้ระดับ BOD หรือ ใช้จำนวนประชากร ที่มีลักษณะเฉพาะในการก่อกำเนิดมลพิษในแต่ละพื้นที่

5) ในการดำเนินงานในครั้งนี้ใช้ข้อมูลจากกรมการปกครองส่วนท้องถิ่นในการหาจำนวนประชากร จึงแสดงเฉพาะประชากรที่อยู่ในระบบทะเบียน ประชากรอื่น ๆ เช่น นักท่องเที่ยว แรงงานต่างด้าว ซึ่งผลกระทบต่อการระบายมลพิษ มิได้อยู่ในฐานข้อมูล จึงอาจทำให้เกิดความไม่แม่นยำในการประเมิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการประเมินสัดส่วนการก่อให้เกิดมลพิษในประชากรที่อยู่เขตอุตสาหกรรม ก็จะทำให้สัดส่วนต่อประชากรมีค่าสูงเกินจริง และการประเมินมลพิษจากน้ำเสียชุมชนมีปริมาณต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

6) ผลลัพธ์ของศึกษาแสดงให้เห็นว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินมีผลกระทบต่อ TMDL และ

CC เช่น การพิจารณา TMDL และ CC ของจังหวัดนครปฐมที่มีการระบายปริมาณมลพิษสูงสุด แต่มีเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ซึ่งใช้ค่า $DO \geq 2$ มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเกณฑ์ จึงทำให้จังหวัดนครปฐมยังสามารถในการรองรับมลพิษ ขณะที่จังหวัดชัยนาทที่มีปริมาณการระบายมลพิษน้อยที่สุด แต่คุณภาพน้ำในแม่น้ำที่จุดอ้างอิงมีระดับ DO เท่ากับ 4.03 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 3) มากกว่าจุดอ้างอิงของจังหวัดนครปฐม ($DO = 2.42$ มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่จังหวัดชัยนาทใช้เกณฑ์มาตรฐานฯ ประเภทที่ 2 ซึ่งใช้ค่า $DO \geq 6$ มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ไม่สามารถรองรับมลพิษได้เพิ่มแม้ว่าจะเป็นพื้นที่ที่มีการระบายมลพิษต่ำที่สุด

7) การศึกษาในอนาคตสามารถดำเนินการโดยการพัฒนาแบบจำลองคุณภาพน้ำอย่างง่ายนั้นบนโปรแกรมสำเร็จรูป ที่สามารถใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์หรือบนสมาร์ตโฟน เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพการรองรับมลพิษของกลุ่มน้ำต่าง ๆ และนำไปใช้ในการประเมินความเป็นไปได้สำหรับโครงการต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ซึ่งจะประโยชน์ในการดูแลรักษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล , โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 คู่มือน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง, คู่มือน้ำทำจีน, 2555.
- [2] M. Benedini and G. Tsakins, Water Quality Modelling for Rivers and Streams. Springer, New York, 2013.
- [3] กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (2565, พฤษภาคม 16). “ประกาศกรมการปกครอง เรื่อง แจ้งข้อมูลทางการปกครอง ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2564” [ออนไลน์]. Available: <https://www.dopa.go.th/news/cate1/view6988>.

- [4] สจิลลา ลีลาชัย และ สติงส์ พิธิยห์, “การประเมินความต้องการใช้น้ำกลุ่มที่พักอาศัยในพื้นที่รับผิดชอบของการประปานครหลวงแบบรายพื้นที่,” *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, จังหวัด ชลบุรี, 15-17 กรกฎาคม 2563.
- [5] ธรรมพงษ์ เนาวบุตร, การประเมินความต้องการน้ำอุปโภค บริโภคและอุตสาหกรรม, สำนักบริหารจัดการน้ำ. [ออนไลน์]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://water.rid.go.th/wrd/const14/images/KL/KL4.pdf>.
- [6] สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน, สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. แนวทางการประเมินการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมสำหรับประเทศไทย, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท นิโอ ดิจิตอล จำกัด, 2561.
- [7] กรมควบคุมมลพิษ, โครงการประเมินศักยภาพการรองรับมลพิษ (Carrying Capacity) แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปราจีนบุรี, 2550.
- [8] T.D. Reynolds and P.A. Richards, Unit operations and processes in environmental engineering, 2nd ed., PWS Publishing, 1996.
- [9] พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล, หน่วยกระบวนการสำหรับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
- [10] H.W. Streeter and E.B. Phelps, A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. US Public Health Service. *Public Health Bull*, Vol 146, pp. 75, 1925.
- [11] M. Owens, R.W. Edwards, and J.W. Gibbs, Some reaeration studies in streams. *Int J Air Water Pollut*, Vol 8, pp. 469–486, 1964.
- [12] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน, 2537

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ดร.พานวดีณ์ แตระกุล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ความเชี่ยวชาญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ภาคอุตสาหกรรม
ขยะชุมชน



พลภัทร อรัญกานนท์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ความเชี่ยวชาญ: น้ำเสียชุมชน



วรา ยงสมิทธิ์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ความเชี่ยวชาญ: ระบบท่อ ระบบ
ประปา



ปิยชัย ชัยลอร์ดน์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ความเชี่ยวชาญ: เสียง น้ำเสีย
ชุมชน ระบบท่อ

Pre-Impact Fall Detection System Using Logistic Regression Model

Nuth Otanasap^{1*}, Pornpimol Bungkomkhun², and Tanainan Tanantpapat³
Master of Science Program in Management of Digital Technology Innovation
Graduate School, Southeast Asia University, THA
Corresponding author : nuto@sau.ac.th

Received: 1 March 2023 / Revised: 1st: 14 March 2023 / Revised: 2nd: 26 March 2023 / Accepted: 29 March 2023

บทคัดย่อ ด้วยปัญหาการหกล้มในผู้สูงอายุที่มีอัตราเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เพื่อป้องกันผลกระทบที่ตามมาจากการหกล้มนักวิจัยจึงพยายามค้นหาวิธีการที่เหมาะสมในการเฝ้าติดตามและแจ้งเตือนก่อนการหกล้มเพื่อสามารถปกป้องร่างกายจากการกระทบกระแทกด้วยถุงลมเป็นต้น ในบทความนี้จะนำเสนอแนวคิดการเฝ้าระวังและตรวจจับก่อนการหกล้มโดยใช้เซ็นเซอร์จำนวน 3 ตัวติดตั้งในมุมมองที่แตกต่างกันทำให้สามารถตรวจจับโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ติดตามร่างกายซึ่งก่อให้เกิดความรำคาญ อีกทั้งด้วยการตรวจจับของเซ็นเซอร์ที่ใช้เฉพาะค่าตำแหน่งของร่างกายคือศีรษะ จุดศูนย์กลางของร่างกาย และตำแหน่งของเท้าทั้งสองข้างเพื่อคำนวณฐานรองรับจึงไม่เกิดปัญหาการละเมิดสิทธิส่วนบุคคล โดยโมเดลที่ใช้ในการตัดสินใจเหตุการณ์หกล้มคือการวิเคราะห์หัตถดอยโลจิสติกที่ใช้ตัวแปรทำนายจากการเคลื่อนที่ของศีรษะเปรียบเทียบกับไดนามิกเทรซโซลด์และจุดศูนย์กลางของร่างกายเทียบกับพื้นที่ฐานการรองรับ จากผลการทดลองทำนายเหตุการณ์ก่อนการหกล้มมีความแม่นยำที่ร้อยละ 98.17 ค่าความไวร้อยละ 87.97 และค่าความจำเพาะร้อยละ 98.98 จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับเหตุการณ์ก่อนการหกล้มโดยใช้โมเดลการทำนายแบบการวิเคราะห์หัตถดอยโลจิสติกสามารถทำงานได้ในเวลาที่กำหนดตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ : ตรวจจับหกล้ม, ไดนามิกเทรซโซลด์, การวิเคราะห์หัตถดอยโลจิสติก, การวิเคราะห์รูปแบบ

Abstract The problem of falling among the elderly has significantly increased continuously. Researchers are trying to find a suitable way to monitor and alert before a fall to protect the body using an airbag, for example, to prevent the consequences of falls. In this paper, pre-fall surveillance and detection using three Kinects installed at different angles enable detection without body tracking devices, which causes trouble. In addition, Kinect detection uses only the head position, the center of gravity, and the position of the feet to calculate the base support area, so there are no privacy violations. The model used to predict the fall event was a logistic regression analysis that used predictive variables of head displacement versus dynamic threshold and body center of gravity versus base support area. From the pre-impact fall predictor experimental

results, the accuracy was 98.17%, the sensitivity was 87.97%, and the specificity was 98.98%. Therefore, it can be concluded that the developed system can detect pre-impact fall events using the logistic regression model and can function at the specified time according to the objective.

Keywords : Fall Detection, Dynamic Threshold, Logistic Regression, Posture analysis.

1. Introduction

Human gesture detection is one of the considerably challenging issues in the pre-impact fall detection system. According to [1] and [2, 3], the second foremost cause of incidental death comprehensive is unintended slips [4], which is a critical cause of individual damage, especially for the esteemed. Consequently, many investigations in healthcare are improving the pre-impact fall detection system to protect those who are possibly concerned. There are many methods used in human gesture detection and designation. These include vision markers and markerless and wearable devices for identifying pre-impact fall. Nonetheless, pre-impact fall detection often includes wearable devices such as an accelerometer and gyroscope [5, 6] to disclose fall incidents in the beginning scene. But the primary tribulation [6] of these technique varieties is that most individuals must remember to consume the devices during accidents. Thus, some researchers try to settle these obstacles by utilizing vision-based approaches such as omni-camera [7] and Kinect cameras [8, 9] that do not need the individual sample to wear any fabrics. Appropriately, the Kinect sensors proposed by Microsoft for human posture analysis and fall exposure are being recognized as relatively low-priced. The free Software Development

Kit (SDK) is also convenient for improvement objectives. Vision-based methods still maintain their obstacles, such as overlay in some areas and surveillance within the camera viewpoint and the instance. The primary purposes of this investigation are to detect fall incidents in the initial scene, attend to the pre-impact fall stage and decrease the overlay issue by using multiple Kinect and logistic regression models for prediction.

2. Related work

2.1) Pre-impact fall detection approach: The pre-impact fall detection technique must confound many complications to improve a practical approach [10]. Some particular problems are occlusion, obstruction, and overlapping in the vision-based method [2]. Further associated troubles are privacy interests, price, noise, calculation complexity, and definition of the threshold-based values [10]. Most pre-fall detection systems currently use both wearable sensors and external sensors that include vision-based or ambient-based systems. Wearable sensors [11] are low-priced, and small electronic devices, such as accelerometers and gyroscopes [5], are used to collect subjects' motion signs. External sensors transmit the subject's environmental signs and movement information for fall-event

detection [12]. Due to their non-intrusiveness and low cost, ambient sensors such as pressure sensors are usually used for tracking the falling occurrence of the subjects [9]. Some fundamental problems with wearable devices are that many people need to remember to wear them. Therefore, a vision-based approach has been developed and used for collecting information on human activities of daily living. However, overlay, obstruction, and occlusion in a vision-based approach [1] are some difficulties. A multi-Kinect-based system has also been improved to collect interaction signals near or surrounding the occurrence.

According to [13], Activities of Daily Living (ADL) monitor human walking, sitting down, picking up an object, rising from a chair, and lying on the bed. The body [13] or head [14] movement of velocities and accelerations has been measured vertically and horizontally. During a fall accident, the accelerations in both extent changing and timing of the magnitude changing will be increasingly higher than normal activities and will be triggered for fall alert. However, the only velocity of movement features needed more to classify ADL and falling events.

2.2) Velocity characteristics: The automatic detection of falls or slips using the velocity silhouette as a unique feature label has been suggested by Wu [13]. Activities of Daily Living (ADL) being observed include: Walking, Standing up from a chair and sitting down, Picking up an object from the ground and lay down

on the bed. Falling motions informed include slipping, forward, and backward falls from standing. The conclusions are based on vertical and horizontal velocities of the body motion. While falling transitions, the volume divergence and the timing of the magnitude assortment of both accelerations will be higher than usual movements, and the data will be involved to activate the caution.

2.3) A threshold-based approach: As a threshold-based algorithm suggested by Bourke et al. [5], it distinguishes between Activities of Daily Living (ADL) and fall events. Using a threshold-based algorithm, they operated a bi-axial gyroscope sensor attached to the individual body for fall appearance. It also calculates rise and yaw angular accelerations to divide among fall events and ADL conceived by young samples. Three thresholds are applied to predict fall occasions: angular accelerations, angular acceleration, and dissimilarity in trunk angle. Though there are cases regarding the threshold rates' dimensions, this affects other advancements.

2.4) Dynamic threshold and other related approaches: Dimou, Nemethova, & Rupp [15] and Youm & Kim [16] conducted a further view transition detection study. Their task specifies a computerized dynamic threshold ideal which is practical for ranking view transitions. Regularly, the velocity divergence of the mean speed for fall detection could be identified by applying a reasonable threshold. Although, the fixed threshold based on the average rate did work fine for all speed variations of the pre-fall event in this analysis.

According to the dynamic threshold method (DTM) by Dimou et al. [15] and Youm et al. [16], changeable parameters were claimed to adjust the threshold dynamically. The results shown that DTM had demonstrated low calculation demand and robustness to false alarms. Then again, a 3D bounding box technique was recommended by Mastorakis and Makris [1], which exhibited a different fall detection method based on Kinect sensors. The fall event was determined by acceleration and idleness assessment based on the width, height, and depth extension of 3D bounding boxes. Furthermore, their proposed method can be done without movement history to complete the fall detection process. Their real-time process [3] has improved accuracy and robustness against false positive movements. Moreover, a fall detection method assuming a single camera based on the 3D rotation of the head was proposed by Rougier et al. [10]. Their procedure could categorize fall activities from regular movements by measuring the velocity of the 3D head. Furthermore, Li et al. [32] introduced a data blending technique from various Kinects to calibrate the depth of the camera perspective with 3D areas of joints on a unique body. Kinect skeleton blending using a Kalman filter is required to evaluate the action detection based on the 3D parts of bony joints. Yang and Chuang [17] also used 3D human skeleton monitoring and ground plane detection based on depth visions obtained by a Kinect method. A shrunken centroid was defined as the mean of 3D body mass to estimate the gesture vector of 3D centroid accelerations within continuous frames. Several significant degrees of velocity were identified as most possible as the chance of falls. Moreover, the levels of lean and sway of the human trunk also mean the rise in the chance of fall

significantly. Moreover, the fuzzy rules-based procedure contends for the reasonable process of resolving efficiently suitable methods of thinking that are assessed rather than particular [18]. We can indicate correlating rules attending semantically practical variables rather than abundances within fuzzy logic. Feasting the definitions affords us the feasibility of exhibiting erroneous, anticipation, biased precision, and threshold [19]. In a while, fuzzy logic-based inference methods are experts in working actively and achieving a relationship with human-like conclusion arrangement in indefinite conditions.

2.5) Center of Gravity and Based Support Area :

As the vertical projection [20, 21, 22] of the center-of-body onto the ground, it is usually called the center of gravity (COG). Generally, a human would not slip when the projection of COG within the base of support is formed by both human feet on the ground [23]. Likewise, falling would be a high probability while the projection of COG exceeds the base of the support area. The threshold-based algorithm was submitted by Bourke et al. [24] to determine falls and activities of daily living. Regardless, a specified threshold value cannot perform well for all ADLs due to the distinction of their features. If it is defined too high, there is a high prospect that some falling misfortunes remain concealed. Vice versa, if it is deficient, the detection system induces false detections.

Again, logistic regression ideals the ability to simulate the reasoning habit of efficiently considering proper methods of reflection that are calculated rather

than explicit [25]. The researcher can intimate mapping rules accompanying linguistically rational variables rather than quantities among logistic regression. The remarks' processing allows them to reveal imprecision, obscurity, partial truth, and threshold.

This study uses a dynamic threshold model for real-time scene change detection in various video arrangements. The head and chest position velocities were used for the first feature in the pre-impact fall detection method. Furthermore, the COG of the subject body was also used for the second feature. These features are combined and classified by logistic regression for pre-impact fall detection and prediction using Kinect sensors.

3. Materials and Methods

Aggarwal and Ryoo [26] revealed that 2-dimensional prototypes were compared to projecting 3-dimensional real-world views and spatial arrangements of humans and objects. A video was a series of 2-dimensional visions recorded in sequential order. Also, there were various transformations in the space-time explanation of the pure 3-dimensional portion.

Accordingly, a procedure could explain the movement as a path in space-time proportions instead of a quantity. Characteristic points specified by skeleton joints tracked by Kinect could be involved to represent motions of human body domains in features as a collection of revolutions. The quantity or the rotation could be derived from the

attribute set of motion for additional processing.

3.1) Vision-based using Multiple Kinects: the Kinect sensor is offered worldwide, creating dense visions under low illumination. The depth data is then expropriated to specify a skeletal sample of any human body from Kinect's viewpoint, establishing each pixel as a human element or surroundings [27, 28, 29]. Self-occlusion occurs when the other portion of themselves hides any parts of a human body. When the expenditure of such a camera is low (e.g., the Kinect sensor) in the submitted procedure, multiple and triple Kinect sensors are used.

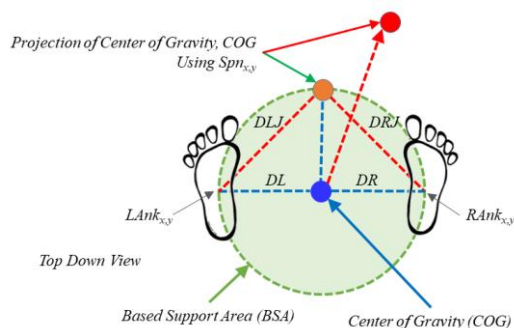


Fig 1. COG calculation

3.2) The Center of Gravity (COG) and Based Support Area (BSA): Whatever the essentials of falling are different and complex, a significant characteristic is the capability to respond efficiently to 'loss of balance,' i.e., counterbalance interference [30]. The critical aspect that conclusively restricts whether or not a balance disorder leads to a fall is our incident, or failure, to recover balance. The calculation of the COG, as shown in figure 1, relates to the model of

each skeletal joint offered by Kinect sensors. The Euclidean metric has been used to calculate straight-line distance between different feature skeletal joints. The *DL* and *DR* range among left and right ankle joint position as equation number (1), and *DRJ* and *DLJ* is the range on both sides of ankles and spine position as defined in equation number (2). Next, the circle region in figure 1 means for the BSA; meanwhile, COG is moving inside the BSA, people are safe, and vice versa, who is possibly unsecured or unstable while COG is running outside the BSA. The red dot is the top view of the COG

projectile to BSA from the human spine position. However, in some instances, the COG may proceed outside the BSA, such as sitting and lying down; therefore, only the COG is inadequate for pre-impact fall detection.

$$COG = \frac{1}{2}(\sqrt{(Spn_x - LAnk_x)^2 + (Spn_z - LAnk_z)^2} + \sqrt{(Spn_x - RAnk_x)^2 + (Spn_z - RAnk_z)^2}) \quad (1)$$

$$BSA = \frac{1}{2}(\sqrt{(LAnk_x - RAnk_x)^2 + (LAnk_z - RAnk_z)^2}) \quad (2)$$

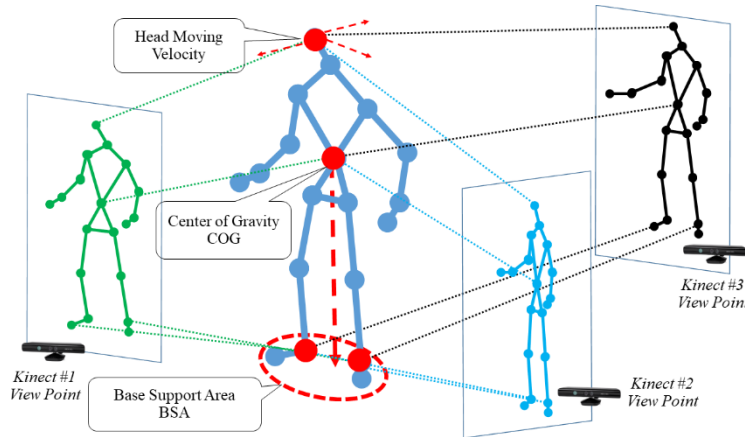


Fig 2. Multiple viewpoints from different Kinects

3.3) Velocity and Dynamic Threshold Approach. The fall event was described by Noury et al. [31] in four phases: pre-fall, critical, pre-impact, post-fall, impact, and recovery fall phases, respectively. Notably, the essential fall or pre-impact fall phase was movement during fall-down, a transient period and more accelerated gesture than normal lie-down. During the pre-impact fall phase, there was a brief free fall time that increases constant vertical and horizontal velocity increasingly. Aggarwal and Ryoo

[26] revealed that 2-dimensional prototypes were compared to projecting 3-dimensional real-world views and spatial arrangements of humans and objects. A video was a series of 2-dimensional visions recorded in sequential order. Also, there were various transformations in the space-time explanation of the pure 3-dimensional portion. Accordingly, a procedure could explain the movement as a path in space-time proportions instead of a quantity. Characteristic points specified by skeleton

joints tracked by Kinect could be involved to represent motions of human body domains in features as a collection of revolutions. The quantity or the rotation could be derived from the attribute set of motion for additional processing. The use of velocity features in both vertical and horizontal tendencies in a coordinate technique using wearable tags for different falls from normal activities was submitted by Wu [13]. However, wearable markers could be more suitable for actual life. In this study, 3D head poses determined from various skeleton arrangements of Kinect SDK are involved in measuring these properties without requesting markers. Previous research has proposed fixed threshold base techniques for approximating head velocity in various cases. Because the fixed threshold definition may be suitable for a unique only due to personal manners, it is not a stereotype. Therefore, a real-time dynamic threshold founded on the head post acceleration is proposed to classify fall happenings from daily life activity. The following equation can determine the head velocity among frame by frame.

$$RTVel, ADLVel = \sqrt{(x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2 + (z_{i-1} - z_i)^2} \quad (3)$$

with $RTVel$ being the real-time velocity and $ADLVel$ being the activities of daily living, velocity calculated by head position in the frame by frame x_i , y_i , and z_i being the head position in the current x_{i-1} , y_{i-1} , and z_{i-1} being the head position of the prior frame. Euclidean distance algorithm was applied as equation (3).

As the frame data provided by Kinect is 30 frames per second, fps is the time consumed per frame, roughly 33.33

msec. Thence, the mean value of acceleration in 1 second is calculated by involving

$$\bar{X}_{ADLVel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ADLVel_i \quad (4)$$

with $\bar{X}_{ADLVel}$ being the mean value of head position accelerations while achieving activities of daily living (ADL) of instances, n being the number of frames in the ADL dataset, and $ADLVel_i$ being the ADL head velocity of each frame in the ADL dataset.

$$\bar{X}_{RTVel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RTVel_i \quad (5)$$

with $\bar{X}_{RTVel}$ being the mean value of head position accelerations while achieving real-time activities of representatives, and n is the number of 30 prior frames in 1 second kept in the buffer.

$$SD_{RT} = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (RTVel_i - \bar{X}_{RTVel})^2} \quad (6)$$

Next, the standard deviation (SD_{RT}) of each series was processed as equation (4), then added by an average of $\bar{X}_{ADLVel}$ and $\bar{X}_{RTVel}$ as an outcome for specifying the dynamic threshold (DT) of individual frames was determined. In equation (7), let DT be the real-time dynamic threshold assessed by consolidating with a mean value of ADL acceleration and real-time detection value augmented by the standard deviation value of real-time detection.

$$DT = ((\bar{X}_{RTVel} + \bar{X}_{ADLVel})/2) + SD_{RT} \quad (7)$$

For head speed detection, the head position velocity of the present frame ($RTVel_i$) has been reached by dynamic threshold (DT), if

$RTVel_i$ value is more elevated than DT , it exhibits a hazardous motion determined. Then, the consequence of velocity comparison is passed to the comparison step in the logistic regression model between velocity and COG technique. However, only head velocity characteristics are insufficient for separate falls, and non-fall motions caused by some normal activities produce speed rising rapidly more elevated than the threshold, such as initiating to run or jumping.

3.4) Logistic Regression for classification between ADLs and fall occurrences:

Logistic Regression Analysis was a multivariate analysis technique that aims to estimate or predict whether an event of interest will occur or not occur under the influence of a factor. The logistic model consists of dependent variables (or criteria variables) that must be binomial variables (Dichotomous Variables). There can be two values: happened and didn't happen or risk and no risk. Furthermore, independent variables (or predictive variables) may had one or more characters which can be either a Categorical Variable or a Continuous Variable. Logistic regression analysis was related to the binomial probability theory known as Binomial Logistic Regression. If the dependent variable was a polynomial, it was called Multinomial Logistic Regression. Logistic regression is a data analysis tool in research studies to predict events or assess risks. It had therefore been applied in research in various fields, including medicine, engineering, ecology, economics, and social sciences. Logistic regression analysis estimates the probability of

occurrence of an event modeled after a logistic function. If there was only one independent variable, the logistic function (Figure 3) expresses the probability of the event shown in the figure below.

$$Prob(fall\ event) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 X)}} \quad (8)$$

when β_0 was a constant (when independent variables do not influence it), β_1 was the coefficient of the independent variable (estimated from observational data), X is the independent variable (predictive variable), and e is the natural logarithm (approximately 2.71828...). The logistic function is represented as follows in the case of multiple predictor variables (n).

$$Prob(fall\ event) = \frac{e^z}{1+e^z} \quad (9)$$

or

$$Prob(fall\ event) = \frac{e^z}{1+e^{-z}} \quad (10)$$

Where Z is a Linear Combination in the form

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (11)$$

When the occurrence of an fall event is expressed as a probability, so the possibility of not happening is

$$Prob(no\ fall\ event) = 1 - Prob(fall\ event) \quad (12)$$

If $Prob(fall\ event)$ is substituted as P_y and the value of Z according to equation (13) is substituted into equation (12), the function will be formed as follows:

$$Prob(fall\ event) = P_y = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}} \quad (13)$$

$$P_y \geq 0.5 : fall\ events\ occurrence$$

$$P_y < 0.5 : fall\ events\ inoccurrence \quad (14)$$

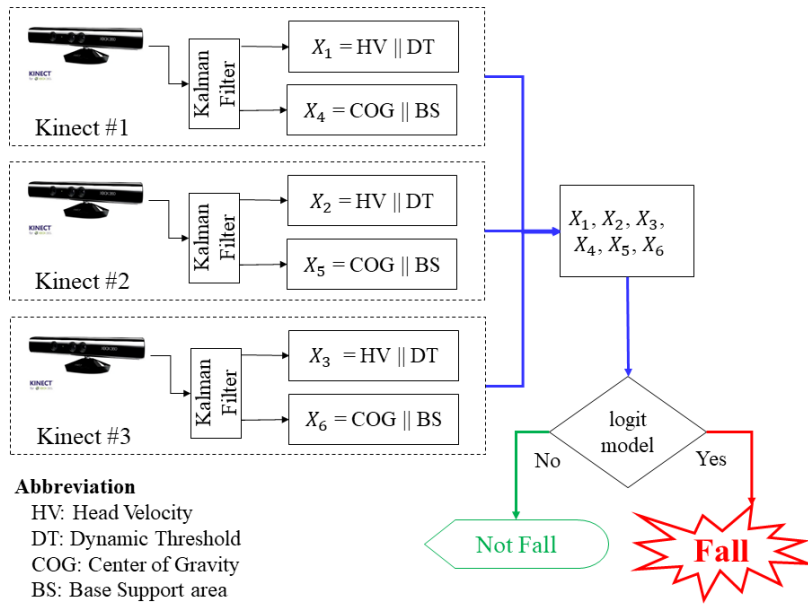


Fig 3. Pre-impact fall detection utilizing head velocity compared to a dynamic threshold and logistic regression.

In such a logistic regression analysis of two possible events of interest, odds are used instead of probabilities. As odds are the ratio of the likelihood of an event occurring and not occurring, that is 0 or greater. The ratio of such opportunities will be in the form of the following:

$$\text{odds} = \frac{P_y}{1-P_y} \quad (15)$$

Equation (15) shows the relationship between the dependent and predictor variables, which is not linear. The function must be transformed into a linear form (logistic transformation). The log of odds is obtained, called logit, which is a logit model showing the relationship between the dependent variable and the predictor variable in the following form:

$$\log(\text{odds}) = \ln\left(\frac{P_y}{1-P_y}\right) \quad (16)$$

Which can be expressed in the form of a linear regression equation as follows

$$\log(\text{odds}) = \text{logit} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (17)$$

Figure 3 shows the framework of the system consisting of inputs from the three Kinnects. The input data is filtered for noise by a Kalman filter. The system then compares the head movement speed with the dynamic threshold as X_1 to X_3 variables. Furthermore, it approximates the body's center of gravity (COG) with the base support area (BS) as X_4 to X_6 variables. The comparative results obtained from the three Kinnects, a total of 6 variables, were used to predict fall outcomes using the Logit Model. The probability ranges from 0 to 1. For example, when the center of gravity moves outside the support area and the head moves faster than the threshold, the probability of a fall is 0.25, meaning there is a fall probability of 25.

$$\text{Logit}(y) = 6.8341 - 1.2710 X_1 - 0.4902 X_2 - 0.3789 X_3 - 0.0097 X_4 - 0.0048 X_5 + 0.0317 X_6 \quad (18)$$

$$\text{Prob}(\text{fall event}) = \frac{e^{6.8341 - 1.2710 X_1 - 0.4902 X_2 - 0.3789 X_3 - 0.0097 X_4 - 0.0048 X_5 + 0.0317 X_6}}{1 + e^{6.8341 - 1.2710 X_1 - 0.4902 X_2 - 0.3789 X_3 - 0.0097 X_4 - 0.0048 X_5 + 0.0317 X_6}} \quad (19)$$

$$\text{Prob}(\text{fall event}) \geq 0.5 \quad \text{Fall Occurrence} \quad (20)$$

$$\text{Constant} = \beta_0 = 6.8341 \quad (21)$$

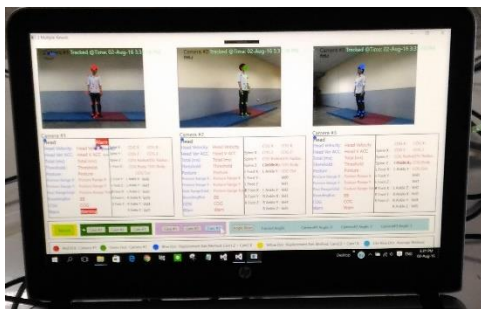


Fig 4. UI of application of multiple Kinect in different view

Table 1 Confusion Matrix

Total = 5,317		Predicted condition	
		Positive = 394	Negative = 4,923
Actual	Positive = 391	TP = 344	FN = 47
	Negative = 4,926	FP = 50	TN = 4,876

4. Experimental results and Conclusions

The experiment was conducted by five male volunteers aged 20-25 years. They practiced activities of daily living postures, including falling from simulated situations on mats drenched with soapy water. They were protected from harm by wearing head and body protection. This experiment determined predictive parameters derived from processing head velocity and moving of center of gravity compared with the base of support area from three Kinnects. Using the data stored and processed from the above

formula, 5,317 frames were divided into 391 actual falling incident frames and 4,926 actual non-falling frames.

Table 2 Experimental Results

Sensitivity	0.8797
Specificity	0.9898
Accuracy	0.9817
Positive Predict Value	0.8731
Negative Predict Value	0.9904
Positive Likelihood Ratio	86.6774
Negative Likelihood Ratio	0.1214

The values from the metrics can be used to calculate the sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value, negative predictive value, positive likelihood ratio, and negative likelihood ratio from the following formula. True positive (TP): A fall occurs in an actual trial, and the system correctly predicts a fall. True negative (TN): The actual trial did not cause a fall, and the system predicted that it did not occur. False positive (FP): The actual experiment had a fall, and the system predicted that it was wrong that there was no fall. False negative (FN): The experiment did not cause a fall, and the system incorrectly predicted a fall.

Evaluation of the logistic regression model using the confusion matrix found that. The sensitivity was 0.8797, indicating that the prediction result was correct when the

fall event occurred at 87.97%, which exceeded 70%. The specificity was 0.9898, indicating that the prediction result was correct when no fall occurred at 98.98%. Accuracy is 0.9817, showing a total accuracy of 98.17%. The Positive Predict Value is 0.8730, representing a percentage of positive predictions of 87.30%, and Negative Predict Value is 0.9904, representing a negative prediction percentage of 99.04%. The positive Likelihood Ratio is 86.6774, and Negative Likelihood Ratio is 0.1214. Therefore, it can be concluded that the application of logistics regression to predict fall events caused by inputs 1) head velocity and 2) center of gravity and base of support area distance calculated from three Kinects detection with different viewpoints was effective and satisfactory. However, to compare the prediction performance, the researcher must also compare it with other prediction methods, such as artificial neuron networks.

Conflicts of Interest

SAU Ethics Committee for Human Research has considered the Protocol Title of " Development of Pre-Impact Fall Detection System " as COA No. 009/2565, approved on 24/03/2023. The principal investigator is Nuth Otnasap. According to the ethical principles of human research, researchers respect human rights and honor, do not violate rights and safety, and do not harm the research participants.

References

- [1] Mastorakis, G., & Makris, D. (2014). Fall detection system using Kinect's infrared sensor. *Journal of Real-Time Image Processing*, 9(4), 635-646.
- [2] Otnasap, N., & Boonbrahm, P. (2013, October). Survey of fall detection techniques based on computer vision. *In Proceeding of The Second Asian Conference On Information Systems* (pp. 351-355) THA
- [3] Otnasap, N., & Boonbrahm, P. (2017, February). Pre-impact fall detection system using dynamic threshold and 3D bounding box. *In Eighth International Conference on Graphic and Image Processing* (pp. 102250D-102250D). International Society for Optics and Photonics.
- [4] World Health Organization. (2012). Good health adds life to years. *Global brief for World Health Day 2012*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. Accessed July, 1, 2012.
- [5] Bourke, A. K., O'brien, J. V., & Lyons, G. M. (2007). Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm. *Gait & posture*, 26(2), 194-199.
- [6] Tolkiehn, M., Atallah, L., Lo, B., & Yang, G. Z. (2011, August). Direction sensitive fall detection using a triaxial accelerometer and a barometric pressure sensor. *In Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 369-372). IEEE.
- [7] Huang, J., Di, P., Wakita, K., Fukuda, T., & Sekiyama, K. (2008, November). Study of fall detection using intelligent cane based on sensor fusion. *In Micro-NanoMechatronics and Human Science, 2008. MHS 2008. International Symposium on* (pp. 495-500). IEEE.
- [8] Madhubala, J. S., & Umamakeswari, A. (2015). A Vision based Fall Detection

- System for Elderly People. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(S9), 172-180.
- [9] Stone, E. E., & Skubic, M. (2015). Fall detection in homes of older adults using the microsoft kinect. *Biomedical and Health Informatics, IEEE Journal of*, 19(1), 290-301.
- [10] Rougier, C., Meunier, J., St-Arnaud, A., & Rousseau, J. (2006, August). Monocular 3D head tracking to detect falls of elderly people. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 6384-6387). IEEE.
- [11] Caon, M., Yue, Y., Tscherrig, J., Mugellini, E., & Abou Khaled, O. (2011, October). Context-aware 3d gesture interaction based on multiple kinects. In *AMBIENT 2011, The First International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies* (pp. 7-12).
- [12] Abbate, S., Avvenuti, M., Bonatesta, F., Cola, G., Corsini, P., & Vecchio, A. (2012). A smartphone-based fall detection system. *Pervasive and Mobile Computing*, 8(6), 883-899.
- [13] Wu, G. (2000). Distinguishing fall activities from normal activities by velocity characteristics. *Journal of biomechanics*, 33(11), 1497-1500.
- [14] Rougier, C., Meunier, J., St-Arnaud, A. and Rousseau, J. (2006, August). Monocular 3D Head Tracking to Detect Falls of Elderly People. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2006. EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 6384-6387). IEEE.
- [15] Dimou, A., Nemethova, O., & Rupp, M. (2005). Scene change detection for H. 264 using dynamic threshold techniques. na.
- [16] Youm, S., & Kim, W. (2003, July). Dynamic threshold method for scene change detection. In *Multimedia and Expo, 2003. ICME'03. Proceedings. 2003 International Conference on* (Vol. 2, pp. II-337). IEEE.
- [17] Yang, M. T., & Chuang, M. W. (2013). Fall risk assessment and early-warning for toddler behaviors at home. *Sensors*, 13(12), 16985-17005.
- [18] Kwolek, B. and Kepski, M. (2016). Fuzzy inference-based fall detection using kinect and body-worn accelerometer. *Applied Soft Computing*, 40, 305-318.
- [19] Zadeh, L. A. (1976). A fuzzy-algorithmic approach to the definition of complex or imprecise concepts. In *Systems Theory in the Social Sciences* (pp. 202-282). Birkhäuser, Basel.
- [20] Kim, E., Helal, S. and Cook, D. (2010). Human Activity Recognition and Pattern Discovery. *IEEE Pervasive Computing*, 9(1).
- [21] Otnasap, N., & Boonbrahm, P. (2019). Fuzzy Inference Based Pre-impact Fall Detection System Using Dynamic Threshold. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 22(2), 44-52.
- [22] Otnasap, N. (2019). Pre-impact fall detection system using real time dynamic threshold and human body bounding box by multiple kinects. *SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY*, 5(1), 49-61.

- [23] Luinge, H. J. and Veltink, P. H. (2005). Measuring Orientation of Human Body Segments Using Miniature Gyroscopes and Accelerometers. *Medical and Biological Engineering and computing*, 43(2), 273-282.
- [24] Bourke, A. K., O'Donovan, K. J., Nelson, J. and O'Laighin, G. M. (2008, August). Fall-detection Through Vertical Velocity Thresholding Using a Tri-axial Accelerometer Characterized Using an Optical Motion-capture System. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2008. EMBS 2008. 30th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 2832-2835). IEEE.
- [25] Le, T. M., Van Tran, L., & Dao, S. V. T. (2021). A feature selection approach for fall detection using various machine learning classifiers. *IEEE Access*, 9, 115895-115908.
- [26] Aggarwal, J. K., & Ryoo, M. S. (2011). Human activity analysis: A review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 43(3), 16.
- [27] Otanasap, N. and Boonbrahm, P. (2015, Sep). Multiple Kinect for 3D Human Skeleton Posture Using Axis Replacement Method. *the 14th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*.
- [28] Otanasap, N. and Boonbrahm, P. (2015, July). Real-time Action Detection from 3D Skeleton Data Using Multiple Kinects, In *Proceeding of The 7th Walailak Research National Conference*. (p. 188).
- [29] Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., ... and Blake, A. (2011, June). Real-time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. In *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on* (pp. 1297-1304). Ieee.
- [30] Maki, B. E. and McIlroy, W. E. (2003). Effects of Aging on Control of Stability. *A textbook of audiological medicine: clinical aspects of hearing and balance*, 671-690.
- [31] Noury, N., Rumeau, P., Bourke, A. K., ÓLaighin, G. and Lundy, J. E. (2008). A Proposal for The Classification and Evaluation of Fall Detectors. *Irbm*, 29(6), 340-349.
- [32] Li, S., Pathirana, P. N., & Caelli, T. (2014, August). Multi-kinect skeleton fusion for physical rehabilitation monitoring. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 5060-5063). IEEE.

Authors' Biography:



Nuth Otanasap received a Ph.D. in Management of Information Technology from Walailak University, Thailand, an M.Sc. degree in Electronic Business from the King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand, and a B.Sc. degree in Computer Science from Southeast Asia University, Thailand. He is an Assistant Professor in the Master of Science Program in Management of Digital Technology Innovation, graduate school at the Southeast Asia University, Bangkok, Thailand. His research interests include neural and fuzzy techniques in nonlinear signal and noise processing.



Pornpimol Bungkomkhun received a Ph.D. in Computer Science from the National Institute of Development Administration (NIDA), Thailand, an MBA in Business Computer Information System from North Texas State University, USA, and a B.Sc. degree in Statistics (Electronic Data Processing) from Chulalongkorn University, Thailand. She is a lecturer in the Master of Science Program in Management of Digital Technology Innovation, graduate school at the Southeast Asia University, Bangkok, Thailand. Her research interests include data analytics and data mining.



Tanainan Tanantpapat received a Ph.D. in Technopreneurship and Innovation Management Program (TIP) from Chulalongkorn University, Thailand, a Master of Management Degree in Organization Development and Management from the Assumption University, Thailand, and a BBA degree in Management Information System (MIS) from Mahidol University International College, Thailand. He is a lecturer in the Master of Science Program in Management of Digital Technology Innovation, graduate school at the Southeast Asia University, Bangkok, Thailand. His research interests include digital technology innovation.

การปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน Mountain Soil Stabilization for Road Construction

กิตติกร ศรีลานนท์*

Kittikorn Srilanont¹*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

234 ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอมือง จังหวัดเลย 42000

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : kittikorncivillru@gmail.com

วันที่รับบทความ: 28 กุมภาพันธ์ 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 1 : 13 เมษายน 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 26 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 2 : 18 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 3 : 25 เมษายน 2566

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาด้วยเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 โดยออกแบบสูตรการทดลองทั้งหมด 10 สูตร ผลการทดลองพบว่า สูตรชุดที่ 1 soil: ceramic (S: C) นำดินภูเขาต้นแบบผสมเซรามิกเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาต้นแบบ โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.930-0.948 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาต้นแบบเช่นกัน โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 8.80 - 10.10 ส่วนค่า CBR กลับมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิกที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม ส่วนสูตรชุดที่ 2 soil: ceramic: cement (S: C: C) นำดินภูเขาต้นแบบผสมเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาต้นแบบ โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.906-0.999 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาต้นแบบเช่นกัน โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 9.20 – 9.45 แต่ค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม ซึ่งเป็นแนวทางที่สำคัญในการนำไปทดลองใช้จริงในงานก่อสร้างถนนต่อไป

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพดิน, ดินภูเขา, เซรามิก, งานก่อสร้างถนน

Abstract This research was aimed to improve mountain soil with ceramic and type 1 Portland cement. The experiment was carried out with 10 formulas of the mixtures. The results were found that the formula 1, soil: ceramic ratio (S: C), with percentages of ceramic of 0, 5, 10, 15 and 20% yields the maximum dry density close to that of the original mountain soil. The average dry density ranges from 0.930-0.948 g/cm³. The optimum water contents are close to that of the original mountain soil averaging from 8.80-10.10%. The CBR values decrease with the amount of ceramic added to the mixtures. The formula 2, soil: ceramic: cement (S: C: C), with percentages of ceramic of 0, 5, 10, 15 and 20% yields the maximum dry density close to that of the original mountain soil. The average dry density ranges from 0.906-0.999 g/cm³. The optimum water contents are close to that of the original mountain soil averaging from

9.20-9.45%. The CBR value decreases with the amount of ceramic and the Portland cement added to the mixtures. This can be an important guideline to try in the actual road construction.

Keywords: Soil Stabilization, Mountain Soil, Ceramic, Road Construction

1. บทนำ

วัสดุดินในงานอุตสาหกรรมการก่อสร้างถนนถือว่าเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง โดยดินที่ใช้ในการก่อสร้างถนนนั้นได้มาจากหลายแหล่ง ทั้งในส่วนของดินตัดส่วนเกินแนวถนนและดินจากบ่อดินถม ซึ่งแหล่งดินที่ใช้ในงานก่อสร้างรวมถึงระยะทางในการขนส่งจะส่งผลต่อราคางานก่อสร้างถนนโดยตรง จากค่าใช้จ่ายในการขนส่งดินทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายและทรัพยากรค่าขนส่งโดยใช้เหตู่ ซึ่งบางครั้งการแสวงหาแหล่งวัสดุที่เหมาะสมยังต้องขุดทำลายระบบนิเวศเพื่อให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ยิงงานก่อสร้างถนนในพื้นที่ภูเขา เช่น ในพื้นที่อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขา แหล่งดินในการก่อสร้างถนนเป็นดินภูเขา ที่ประกอบไปด้วยมวลรวมละเอียดไม่มีมวลรวมหยาบผสมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการขนส่งวัสดุดินจากพื้นที่ภายนอกจะมีความลำบากในการขนส่งและมีราคาค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูงกว่าการก่อสร้างถนนในพื้นที่ราบมาก ดังนั้นหากสามารถนำดินที่อยู่ในพื้นที่การก่อสร้างมาใช้งานก่อสร้างถนนได้ โดยการปรับปรุงคุณภาพดินให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีขึ้น [1-4] เช่น กระบวนการเชิงกล การปรับปรุงโดยใช้สารเคมี หรือการเพิ่มมวลรวมหยาบลงไปในดิน จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมให้สูงขึ้นจนสามารถนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างถนนที่มีคุณภาพได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการดำเนินการก่อสร้างถนนได้อย่างมาก

ในขณะที่ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมเซรามิกจำนวนมากตามอัตราการผลิตและการใช้ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตมีเศษเซรามิกเกิดขึ้นจำนวนมากจากรูปทรงของผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน ต้องนำไปทุบ

ทำลายทิ้ง [5] จากข้อมูลศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่ามีเศษเซรามิก ที่ไม่ได้มาตรฐานในกระบวนการผลิตสูงถึงร้อยละ 7 ต่อปี หรือ 175,000 ตันต่อปี จากกำลังการผลิตทั้งหมด 2,500,000 ตันต่อปี แต่หากนำเศษเซรามิกเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์เป็นมวลรวมหยาบนามาผสมกับดินภูเขาซึ่งเป็นมวลรวมละเอียด โดยนำเศษเซรามิกที่ทุบแล้วมีขนาด 1-2 นิ้ว ซึ่งมีความแข็งแรงเหมือนหินมาผสมในดินภูเขา ก็จะส่งผลต่อขนาดผลของดินที่ดีขึ้น มวลรวมของดินมีขนาดที่หลากหลายขึ้นย่อมทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินมีคุณภาพที่ดีขึ้นจนสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนนได้ดี [6] N. K. Ameta และคณะ (2013) ได้ปรับปรุงดินในทะเลทราย (dune sand) ด้วยเศษเซรามิกกระเบื้องปูพื้น ผลการศึกษาพบว่า ดินทะเลทรายซึ่งปกติอยู่ในสภาพหลวมแปรสภาพเป็นมวลดินที่มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นจากการปรับปรุงด้วยเศษเซรามิก ซึ่งการนำเศษเซรามิกมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดินให้มีคุณภาพดีขึ้นนี้ นอกจากก่อให้เกิดมูลค่ากับเศษเซรามิกและประโยชน์ทางเศรษฐกิจจากภาคอุตสาหกรรมแล้ว ยังลดการขุดทำลายระบบนิเวศจากบ่อดินถม ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งดินจากนอกพื้นที่ก่อสร้าง และยังลดระยะเวลาในการก่อสร้างให้น้อยลงอีกด้วย

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อพิจารณาผลจากการปรับปรุงดินภูเขาในพื้นที่ห่างไกลขาดแหล่งดินคุณภาพดี โดยการผสมเซรามิก และปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 แล้วทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน เพื่อหาค่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม และค่าความสามารถรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด

ขั้นตอนการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมวัสดุทดสอบงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน ได้แก่ ดินภูเขาที่ใช้ในการทดสอบได้จากการสุมเก็บตัวอย่างดินจากถนนสายภูเรือ-ปลาบ่า อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และเศษวัสดุเซรามิกขนาด 1-2 นิ้ว ดังรูปที่ 1 และทำการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน ตามสูตรการทดลองที่ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ดินภูเขา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และวัสดุเซรามิก

2. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน [7-8] ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน ดังนี้

2.1 ทดสอบหาค่าอัตราเตอร์เบอร์ก (Atterberg's limits) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของมวลดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ความชื้นต่างๆ สถานภาพมวลดินตามธรรมชาติและการยุบหรือการพองตัวของดิน

2.2 ทดสอบการกระจายขนาดผลของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน (sieve analysis) เพื่อศึกษาการกระจายขนาดผลของดินเม็ดหยาบ

2.3 ทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor test) เป็นการพิจารณาอัตราส่วนและความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของวัสดุผสมเพิ่ม เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังมากที่สุดของวัสดุผสมเพิ่ม

2.4 ทดสอบแคลิฟอร์เนียเบียร์เรโซ (California bearing ratio, CBR) ซึ่งบดอัดที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม เพื่อศึกษากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัด

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4. สรุปและอภิปรายผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 สูตรสัดส่วนการออกแบบส่วนผสมการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขา

soil: ceramic	
1.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 100: 00
2.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 95: 05
3.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 90: 10
4.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 85: 15
5.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 80: 20
soil : ceramic: cement	
1.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 100: 00: 00
2.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 90: 05: 05
3.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 80: 10: 10
4.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 70: 15: 15
5.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 60: 20: 20

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่อ
งานก่อสร้างถนน แบ่งผลการทดสอบและการวิเคราะห์
ออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของดินภูเขา

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและ
ทางวิศวกรรมของดินภูเขาเพื่อนำมาพิจารณานำมาใช้เป็น
วัสดุงานก่อสร้างถนน พบข้อมูลดังนี้



3.1.1 สีและรูปร่างของดินภูเขา (color and shape of soil)

มีสีแดงเข้มปนน้ำตาล มีปริมาณของดินเม็ด
ละเอียด (fine grained soil size) ปนอยู่ค่อนข้างมาก ส่วน
ปริมาณดินเม็ดหยาบ (coarse grained soil size) มีน้อยมาก
รูปร่างของดินภูเขามีลักษณะเป็นเหลี่ยม (blocky) ดังรูปที่
2 และจากการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นตาม
ธรรมชาติ (natural moisture content) ของดินภูเขา พบว่า
ค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติเท่ากับ ร้อยละ 12.78

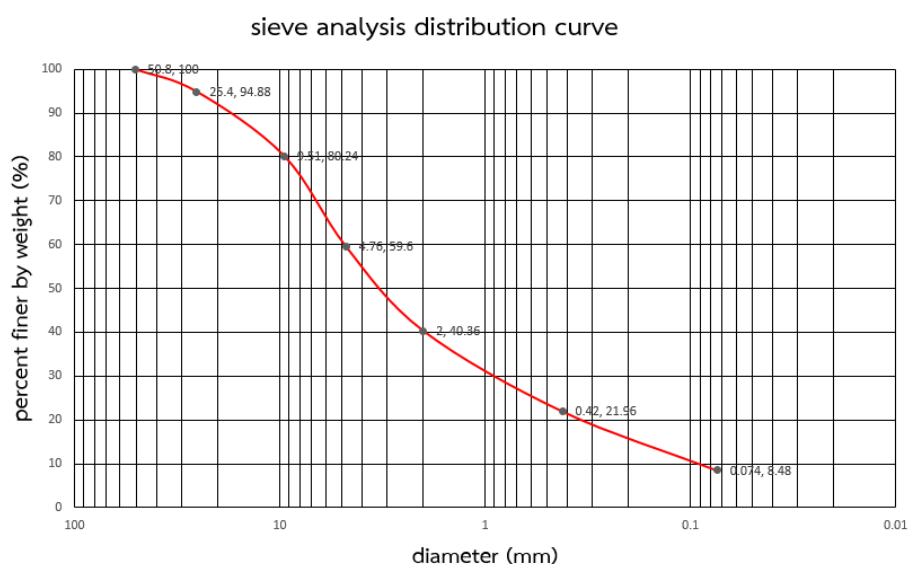


รูปที่ 2 สีและรูปร่างของดินดินภูเขา

3.1.2 ค่าขนาดผลและการกระจายตัวของมวลดิน (gradation and size distribution of soil)

ผลการทดสอบพบว่า ดินภูเขาที่นำมาทดสอบ ประกอบด้วยปริมาณของกรวด (gravel) ขนาดเม็ดดิน ตั้งแต่ 4.75-75 มิลลิเมตร เท่ากับร้อยละ 40.40 ปริมาณของทราย (sand) ขนาดเม็ดดินตั้งแต่ 0.075-4.75 มิลลิเมตร เท่ากับร้อยละ 51.12 และปริมาณของตะกอนทรายหรือดินเหนียว (silt or clay) ขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 0.075

มิลลิเมตร เท่ากับร้อยละ 8.48 เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดิน พบว่าดินภูเขาจัดเป็นดินประเภทขนาดผลดี (well grade soil) โดยมีค่า D₁₀ เท่ากับ 0.09 มิลลิเมตร ค่า D₃₀ เท่ากับ 0.90 มิลลิเมตร ค่า D₆₀ เท่ากับ 4.90 มิลลิเมตร ค่า C_u เท่ากับ 54.44 และค่า C_c เท่ากับ ดังรายละเอียดในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟการกระจายขนาดผลของดินภูเขา

3.1.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (bulk specific gravity, GS)

เป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่งทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง (void volume) ความอิ่มตัว (degree of saturation) ความพรุน (porosity) รวมถึงการจำแนกดิน และการพิจารณานำดินไปใช้ในงานวิศวกรรม จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินภูเขาที่ทำการเก็บตัวอย่างดินจากดินตัดถนนสาย ภูเขา-ปลาบ่า อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ผลการทดสอบพบว่า ดิน

ภูเขา มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.50 ซึ่งถือว่ามีความค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของดินทั่วไป ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.80 ตามทฤษฎีความถ่วงจำเพาะเป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนาแน่นของวัตถุกับค่าความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน ดังนั้นวัตถุที่ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำย่อมมีแนวโน้มถึงค่าความหนาแน่นต่ำด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของดิน และเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของดินในการพิจารณานำไปใช้งานทางวิศวกรรม

3.1.4 ค่าขีดจำกัดอัตราเบอร์ก (Atterberg's limits)

ดินประเภทเม็ดละเอียด (fine grain soil) มีสถานะของมวลดินหลายสถานะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในมวลดิน โดยปริมาณน้ำในมวลดินก็จะส่งผลต่อกำลังของดินแต่ละประเภทด้วย จากการทดสอบหาค่าขีดจำกัดอัตราเบอร์กของดินภูเขา พบว่าดินภูเขามีค่าขีดจำกัดเหลว (liquid limit, LL) เท่ากับร้อยละ 26.00 ขีดจำกัดพลาสติก (plastic limit, PL) เท่ากับร้อยละ 22.14 และดัชนีพลาสติก (plastic index) เท่ากับร้อยละ 3.86

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของดินภูเขาปรับปรุงด้วยเชรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.2.1 ค่าการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test)

วิธีบดอัดดินให้ได้ความแน่น (density) จะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวหล่อลื่น ถ้าน้ำมีอยู่มากเกินไป น้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบๆ มวลดิน ทำให้อนุของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกัน แต่ถ้าน้ำมีอยู่น้อยเกินไป การหล่อลื่นจะไม่ดีพอส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของดินเช่นกัน ดังนั้นมีความสำคัญมากในการค้นหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด (optimum moisture content) ที่ใช้ในการบดอัดดิน

แต่ละชนิดเพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry unit weight)

จากการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินภูเขา ดังรูปที่ 4 ได้ผลการทดสอบเป็น 2 ส่วนหลัก โดยในส่วนที่ 1 ของสูตรการทดสอบได้นำดินภูเขามาปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมเชรามิกตามอัตราส่วนที่ออกแบบ มีผลการทดสอบดังตารางที่ 2 และกราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic (S: C) ดังรูปที่ 5

ซึ่งสูตรการทดสอบดังกล่าวได้นำดินภูเขาดินแบบผสมเชรามิกเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มเชรามิกขึ้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขา มีค่าเท่ากับ 0.939 g/cm^3 และจากกราฟแนวโน้มค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเชรามิก มีค่าค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาดินแบบ ถึงแม้ว่าการเพิ่มเชรามิกจะมากขึ้นจนถึงร้อยละ 20 ก็ตาม ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $0.930\text{--}0.948 \text{ g/cm}^3$

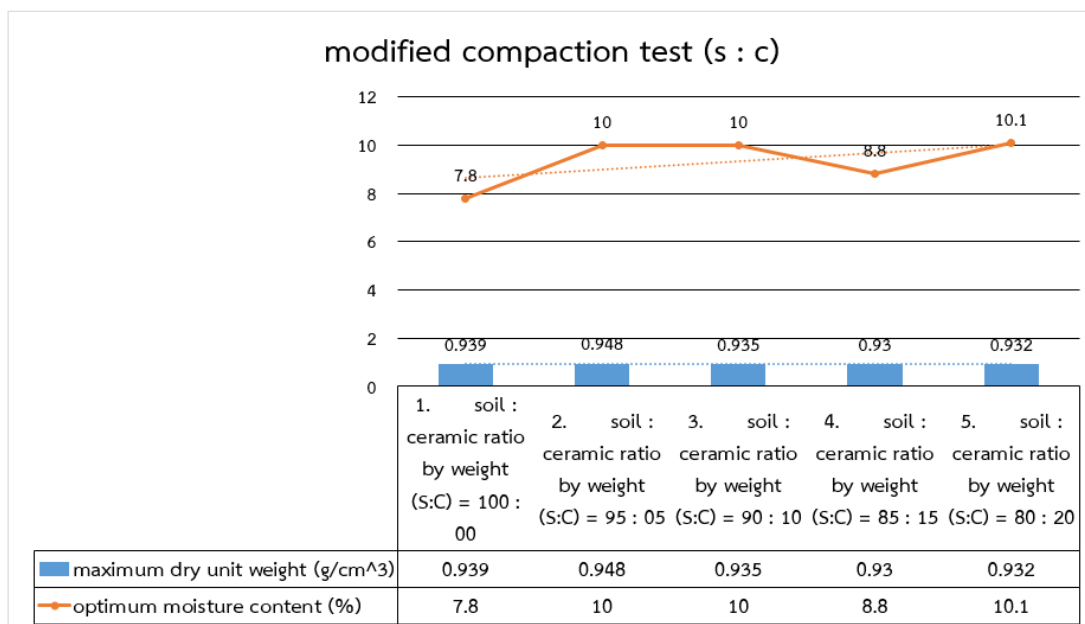
ส่วนค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ตามจำนวนร้อยละของเชรามิกที่ผสมในดินภูเขา โดยค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดของดินภูเขาดินแบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.80 และเมื่อผสมเชรามิกในดินภูเขาเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน พบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 8.80 - 10.10



รูปที่ 4 การทดสอบการบดอัดดินของดินภูเขา

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน สูตร soil: ceramic (S: C)

modified compaction test		
soil: ceramic	maximum dry unit weight (g/cm ³)	optimum moisture content (%)
1. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 100: 00	0.939	7.80
2. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 95: 05	0.948	10.00
3. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 90: 10	0.935	10.00
4. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 85: 15	0.930	8.80
5. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 80: 20	0.932	10.10



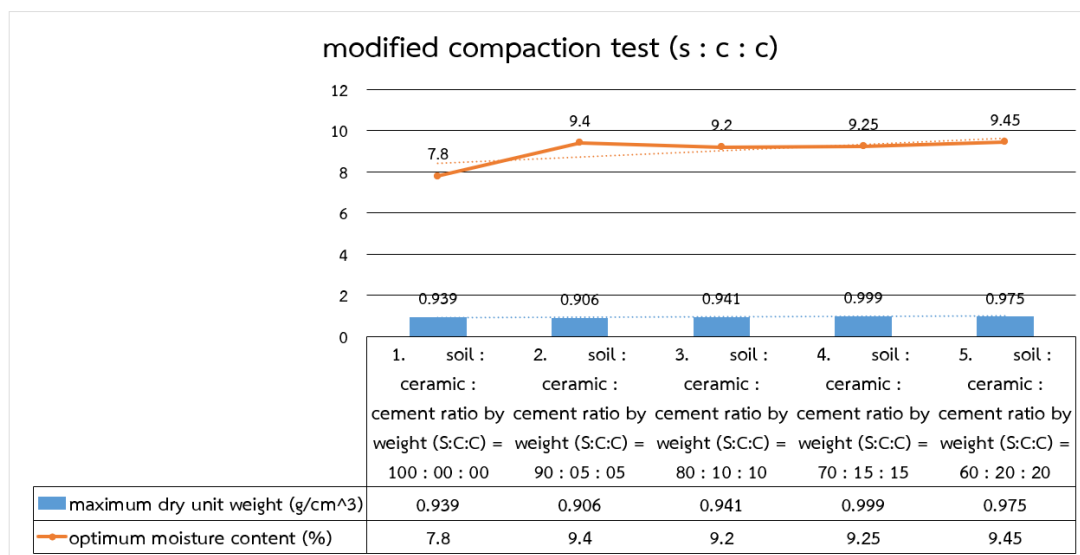
รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic (S: C)

ในส่วนที่ 2 ของสูตรการทดสอบ ซึ่งได้นำดิน
ภูเขามาปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการผสมเซรามิกและ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามอัตราส่วนที่

ออกแบบ มีผลการทดสอบดังตารางที่ 3 และกราฟแสดง
ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสม
ของสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

modified compaction test		
soil: ceramic: cement	maximum dry unit weight (g/cm ³)	optimum moisture content (%)
1. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 100: 00: 00	0.939	7.80
2. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 90: 05: 05	0.906	9.40
3. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 80: 10: 10	0.941	9.20
4. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 70: 15: 15	0.999	9.25
5. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 60: 20: 20	0.975	9.45



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

จากข้อมูลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน และกราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) ข้างต้น สูตรดังกล่าวได้นำดินภูเขา ดินแบบ ผสมเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ขึ้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาชนิดแบบ มีค่าเท่ากับ 0.939 g/cm^3 และจากกราฟค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขา ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $0.906 - 0.999 \text{ g/cm}^3$

ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด พบว่าค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดของดินภูเขาชนิดแบบมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 7.80 และเมื่อเพิ่มปริมาณเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในดินภูเขาเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน พบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 9.20 – 9.45 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

3.2.2 ค่าแคลิฟอร์เนียแบร์ริงเรโซ (California bearing ratio, CBR)

การทดสอบแคลิฟอร์เนียแบร์ริงเรโซเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถการรับน้ำหนักของ

ตัวอย่างดินบดอัด เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการออกแบบงานก่อสร้างสนามบิน และถนน โดยเทียบเคียงกับค่า standard unit load ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานจากการบดอัดหินคลุกแล้วกด piston ที่พื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ด้วยอัตรา 0.05 นิ้ว/นาทีก และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ CBR ณ ตำแหน่งการทดสอบ CBR ของดินภูเขา (แบบไม่แช่น้ำ, unsoaked sample) ที่แบ่งการทดสอบตามสูตรของงานวิจัย โดยแบ่งเป็น 2 สูตรหลักคือ สูตร soil: ceramic (S: C) และสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) ได้ผลการทดสอบดังนี้

สูตรชุดที่ 1 สูตร soil: ceramic (S: C) ซึ่งสูตรดังกล่าวนี้ ได้นำดินภูเขาชนิดแบบผสมเซรามิกเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มเซรามิก ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4 ผลการทดสอบพบว่า ค่า CBR ของดินภูเขาชนิดแบบ มีค่าเท่ากับร้อยละ 55.72 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 53.83 (% CBR @ 0.2") ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้ดินภูเขาในการก่อสร้างชั้นทางบางชั้นได้โดยตรง แต่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านอื่นด้วย เช่น การบวมตัว และจากกราฟค่า CBR ของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิก พบว่า มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิกที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม และเมื่อใส่เซรามิกเข้าไปในส่วนผสมที่ร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า CBR ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 16.86 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 19.56 (% CBR @ 0.2") ดังกราฟ รูปที่ 7

ตารางที่ 4 ข้อมูลผลการทดสอบค่า CBR สูตร soil: ceramic (S: C)

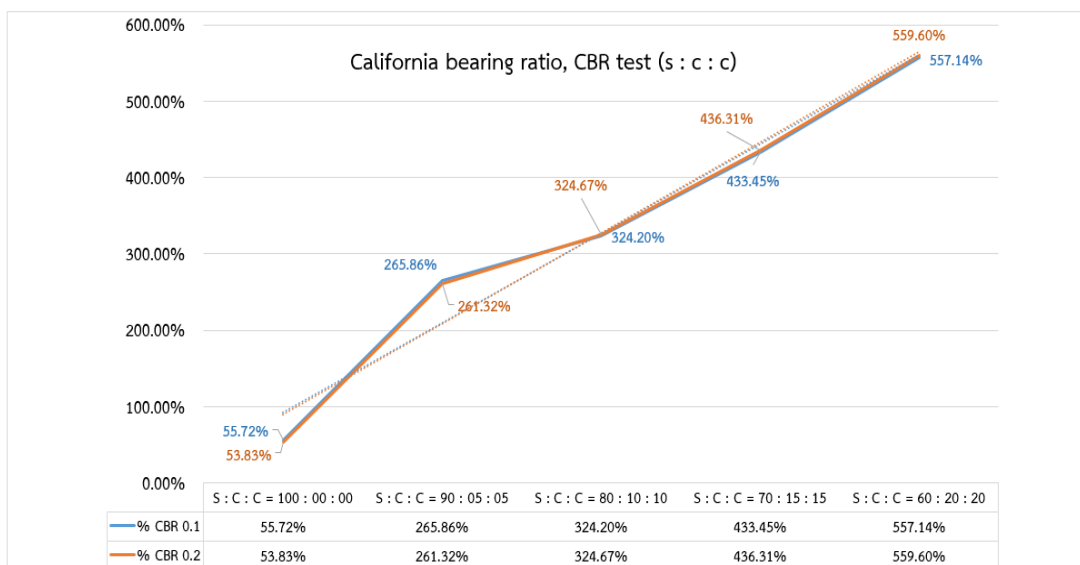
CBR / S: C	S: C 100: 00	S: C 95: 05	S: C 90: 10	S: C 85: 15	S: C 80: 20
% CBR @ 0.1"	55.72%	24.93%	37.34%	18.09%	16.86%
% CBR @ 0.2"	53.83%	25.63%	37.59%	21.97%	19.56%



และจากกราฟค่า CBR ของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วย
เซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 พบว่า มี
ค่า CBR เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิก
และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่เพิ่มเข้าไปใน
ส่วนผสม และเมื่อใส่เซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ประเภทที่ 1 เข้าไปในส่วนผสมที่ร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า
CBR สูงถึงร้อยละ 557.14 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ
559.60 (% CBR @ 0.2") ดังกราฟ รูปที่ 8

ตารางที่ 5 ข้อมูลผลการทดสอบค่า CBR สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

CBR / S: C: C	S: C: C 100: 0: 0	S: C: C 90: 5: 5	S: C: C 80: 10: 10	S: C: C 70: 15: 15	S: C: C 60: 20: 20
% CBR @ 0.1”	55.72%	265.86%	324.20%	433.45%	557.14%
% CBR @ 0.2”	53.83%	261.32%	324.67%	436.31%	559.60%



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่า CBR สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

4. สรุปผล

ดินภูเขาดินแบบที่นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรม จากข้อมูลผลการทดสอบสามารถจำแนกประเภทของดินภูเขาโดยระเบียบวิธีของ AASHTO ที่กรมทางหลวงใช้เป็นมาตรฐานในการจำแนกดิน [9] พบว่าเป็นดินกลุ่ม A-1-a (0) โดยมีค่า % passing No.10 (2.00 mm) เท่ากับร้อยละ 40.36 ค่า % passing No.40 (0.425 mm) เท่ากับร้อยละ 21.96 ค่า % passing No.200 (0.075 mm) เท่ากับร้อยละ 8.48 และเมื่อนำมาไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของดินในการใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง (general rating as a subgrade) พบว่า ชนิดของวัสดุ (usual types of significant constituent materials) จัดเป็นดินชนิดหิน กรวด และทราย (stone fragments, gravel and sand) มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การใช้งานเป็นดินชั้นทางในเกณฑ์ดีเยี่ยมถึงดี (excellent to good) และเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง และสามารถใช้เป็นดินชั้นแบบในการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาในงานก่อสร้างถนนได้ และจากการปรับปรุง

คุณภาพดินภูเขา โดยการผสมเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินภูเขา เพื่อศึกษาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry unit weight) ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (optimum moisture content) และค่าความสามารถการรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด (California bearing ratio, CBR) พบว่า ดินภูเขาดินแบบมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด เท่ากับ 0.939 g/cm³ และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 7.80 และค่า CBR เท่ากับร้อยละ 55.72 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 53.83 (% CBR @ 0.2")

เมื่อผสมเซรามิกอย่างเดียวยตามสูตรการทดลองชุดที่ 1 สูตร soil: ceramic (S: C) ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิก มีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาดินแบบ คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.930-0.948 g/cm³ ส่วนค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาดินแบบเช่นกัน โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 8.80 - 10.10 แต่ค่า CBR กลับพบว่า มีค่า

ลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิกที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม ยิ่งเพิ่มปริมาณเซรามิกก็ยิ่งส่งผลให้ค่า CBR ลดลง และเมื่อใส่เซรามิกเข้าไปในส่วนผสมร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า CBR ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 16.86 (% CBR @ 0.1”) และร้อยละ 19.56 (% CBR @ 0.2”) เท่านั้นเอง จากข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า การผสมเซรามิกในการปรับปรุงคุณภาพดินไม่มีผลทำให้ดินภูเขาเพิ่มค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมสูงขึ้นแต่อย่างใด แต่ส่งผลต่อค่าความสามารถการรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด (ค่า CBR) มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัชชัย อภินันท์ติยา (2558) [10] วิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยเซรามิกและจีโอโพลีเมอร์ พบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินลูกรังผสมเศษเซรามิก มีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินลูกรังไม่ผสมเศษเซรามิก เพราะเซรามิกเป็นวัสดุไม่ดูดซับน้ำทำให้ความต้องการใช้น้ำในการจัดเรียงตัวของอนุภาคเม็ดดินไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ค่า CBR (unsoaked sample) ของดินลูกรังผสมเศษเซรามิกกลับมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเศษเซรามิกที่ผสมเพิ่มลงไป ซึ่งดินลูกรังมีขนาดกะทัดรัดมากกว่าดินภูเขา ผลการวิจัยในครั้งนี้ แสดงว่า ชนิดของดินที่ใช้เซรามิกปรับปรุงคุณภาพมีผลต่อค่า CBR นั้นหมายถึงเซรามิกเหมาะกับการปรับปรุงคุณภาพด้านวิศวกรรมกับดินบางชนิดเท่านั้น และอาจรวมถึงขนาดของเซรามิกที่ใช้ผสมด้วย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังกล่าว

แต่เมื่อนำดินภูเขามาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามสูตรการทดลองชุดที่ 2 สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) พบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาต้นแบบ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.906 - 0.999 g/cm³ ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมพบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดของดินภูเขาต้นแบบเช่นกัน โดยมีค่าที่ร้อยละ 9.20 – 9.45 แต่

ค่า CBR กลับพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม แตกต่างจากค่า CBR ของสูตรชุดที่ 1 ที่มีค่าลดลง และเมื่อใส่เซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เข้าไปในส่วนผสมที่ ร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า CBR สูงถึงร้อยละ 557.14 (% CBR @ 0.1”) และร้อยละ 559.60 (% CBR @ 0.2”) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาโดยการผสมเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาเท่าใดนัก แต่ส่งผลต่อค่าความสามารถการรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด (CBR) อย่างมาก ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีที่ทำให้ดินมีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ค่า CBR ของชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางที่มีค่า CBR สูงกว่า 80% จัดเป็นกลุ่มวัสดุดินที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดีเยี่ยม แต่การนำมาใช้งานจริงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านอื่นประกอบด้วย และจากผลการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาด้วยการผสมวัสดุเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 น่าจะเป็นแนวทางสำคัญที่ควรเลือกใช้มากกว่าการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาผสมวัสดุเซรามิกเพียงอย่างเดียว เพื่อใช้ในการทดลองนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนนในงานจริงต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Inthapichai and P. Voottipruex, Soil Mechanics, Siam Sport Syndicate, 2004. (in Thai)
- [2] P.L. Capper and W.F. Cassie, The Mechanics of Engineering Soil, E.& F.N. Spon, 1969.

- [3] B.M. Das, Advanced Soil Mechanics, McGraw-Hill, 1983.
- [4] T.H. Wu, Soil Mechanics, Allyn and Bacon, 1976.
- [5] MTEC A Member Of NSTDA, The situation of ceramics in Thailand, 2013. (in Thai)
- [6] N. K. Ameta, A. S. Wayal, and P. Hiranandani, “Stabilization of Dune Sand with Ceramic Tile Waste as Admixture,” American Journal of Engineering Research (AJER), vol. 02, Issue. 09, pp. 133-139, 2013.
- [7] Department of Rural Road, (2022, sep. 26). “Pavement Material Standards” [Online]. Available: <http://research.drr.go.th/node/500?1349288890=1>. (in Thai)
- [8] S. Koowichicharu, Soil Laboratory Testing, Library Nine, 1998. (in Thai)
- [9] T. W. Lambe, and R. V. Whitman, Soil Testing for Engineering, John Wiley & Sons, 1951.
- [10] C. Aphinanthitaya, “Soil Stabilized with Ceramics and Geopolymers,” Student’s Project, Dep. Civil Eng. and Edu., KMUTNB., 2015. (in Thai)

ประวัติผู้ประพันธ์



ผู้ประพันธ์: ผศ. กิตติกร ศรีวานนท์
การศึกษา: ค.อ.บ. (วิศวกรรมโยธา),
 ค.อ.ม. (โยธา)
สถานที่ทำงาน: สาขาวิศวกรรมโยธา
 และบริหารงานก่อสร้าง คณะ
 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

การควบคุมมุมเงยของอากาศยานโดยการปรับจูน PID ด้วย CS กับ FPA

Controlling the air craft pitch by tuning PID controller using CS vs FPA

ไชโย ธรรมรัตน์¹, สุริยัน เลหาเลิศเดชา^{2,3} และ วีระพันธ์ ดั่งทองสุข²

Chaiyo Thammarat¹, Suriyan Lahalertdecha^{2,3} and Weerapun Duangthongsuk²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หนองแขม กทม. 10160

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หนองแขม กทม. 10160

³บริษัท คันไซ 1980 เอ็นจิเนียริง จำกัด 295/29 ถนนราชพฤกษ์ แขวงบางจาก เขตภาษีเจริญ กทม.10160

ผู้พิมพ์ประสานงาน : chaiyot@sau.ac.th

วันที่รับบทความ: 17 กุมภาพันธ์ 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: 29 มีนาคม 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 12 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการปรับจูนตัวควบคุมโดยใช้การหาค่าเหมาะที่สุดเพื่อควบคุมมุมเงยของอากาศยาน เนื่องจากระบบของ อากาศยานเป็นระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งควบคุมได้ยาก และปัจจุบันนี้ระบบมุมเงยใช้กันมากในอากาศยานต่าง ๆ ทั่วไป การควบคุมใช้โครงสร้างตัวควบคุมแบบแผนเดิม(PID) เพื่อให้ระบบควบคุมมุมเงยนี้มีสมรรถนะและเสถียรภาพที่ดี โดยใช้การสุ่มแบบเลวีเป็นตัวหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการค้นหาแบบนกกาเหว่า (cuckoo search ,CS) กับ ขั้นตอนวิธีการผสมเกสรดอกไม้ (flower pollination algorithm , FPA) เพื่อปรับจูนตัวควบคุม PID ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB พบว่า FPA ให้ผลตอบสนองเหนือกว่า CS ในด้านของเวลาการค้นหา ในขณะที่ CS มีความสามารถเหนือกว่า FPA ในด้านการหาค่าผลเฉลยที่ถูกต้อง(ค่าวัตถุประสงคน้อยที่สุด) โดยรวมผลการเปรียบเทียบทั้ง 9 ด้านพบว่า FPA มีสมรรถนะเหนือกว่า CS

คำสำคัญ : ตัวควบคุม PID, ตัวหาค่าเหมาะที่สุด, มุมเงย, การค้นหาแบบนกกาเหว่า, ขั้นตอนวิธีการผสมเกสรดอกไม้

Abstract The objective of this research is to presents the tuning of controllers using the optimization for controlling the pitch angle of the aircraft. Since the aircraft system is nonlinear system that it is hard to control and pitch control system is predominantly used nowadays in several aircraft. By employing classical controller such as Proportional Integral Derivative Controller (PID), pitch control system get the better dynamic performance and stability. Introducing the well-known Lévy-based meta-heuristics for the optimizers, those are cuckoo search (CS) and flower pollination algorithm (FPA) for tuning of PID controllers. The comparison results shown that FPA is better than CS in terms of search speed while CS outperforms FPA in finding optimal solutions (minimum object function). By 9-comparison factors, FPA is better performance than CS.

Keywords: Integral Derivative Controller (PID), Optimizer, pitch angle, cuckoo search (CS), flower pollination algorithm (FPA)

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในขณะที่เทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการพัฒนาอากาศยาน (aircraft) ที่เริ่มจากพี่น้องตระกูลไวท์ (Wright brothers) [1] ซึ่งมีข้อจำกัดมากมายมาจนถึงปัจจุบันนี้ อากาศยานมีสมรรถภาพสูงขึ้น โดยนำมาใช้งานทั้งด้านการทหารและด้านการพาณิชย์รวมถึงด้านสำรวจภูมิอากาศ โดยมีการปรับปรุงทั้งด้านอากาศพลศาสตร์(aerodynamics) [2] ด้านโครงสร้าง ด้านวัสดุที่ใช้และด้านระบบควบคุมการขับเคลื่อน สำหรับอากาศยานสมัยใหม่ประกอบด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติหลายอย่าง เช่น ระบบนำร่อง การควบคุมพารามิเตอร์ให้มีความเสถียรภาพ และระบบบริหารการบิน โดยระบบที่ช่วยการทำงานของนักบินคือระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ (autopilot) [3] ซึ่งถูกสร้างขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1912 โดยบริษัท Sperry [1]

ปัญหาหลักสำคัญหนึ่งสำหรับระบบควบคุมการบินคือ ตัวระบบรวมประกอบด้วยระบบพลวัตที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear dynamics) [3] แบบจำลองระบบ (model) ไม่แน่นอนและพารามิเตอร์เปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม ขณะที่อากาศยานเคลื่อนที่อย่างอิสระในแนว แกนหมุน (roll axis) แกนยก (pitch axis) และ แกนเลี้ยวจะมีการทำงานซับซ้อนมาก [4] ปกติอากาศยานจะเคลื่อนที่ใน 3 แกน (yaw axes) โดยใช้ ปีก (aileron) หางเสือ (rudder) และ ส่วนยกขึ้น (elevator) ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ เป็นเครื่องมือช่วยการทำงานของนักบินโดยช่วยให้เครื่องบินรักษาความสูงคงที่ หรือนำทางการบินหรือขณะร่อนลงจอดที่สนามบิน ในงานวิจัยนี้จะมุ่งถึงการออกแบบระบบควบคุมการบินอัตโนมัติในส่วนของ การควบคุมมุมยก (pitch angle) เพื่อรักษาการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงให้อยู่ในย่านตำแหน่งที่ตั้งไว้ (set point position) จุดประสงค์ในการออกแบบตัวควบคุมการควบคุมมุมยก

ใช้การปรับจูนตัวควบคุมตระกูล PID (proportional-integral-derivative controller family) นำเสนอโดย Minorsky ในปี ค.ศ.1922 [5] ด้วยการใส่เทอมสัดส่วน (proportional term) หรือเทอม P เพื่อปรับปรุงระดับการตอบสนอง เทอมปริพันธ์ (integral term) หรือเทอม I เพื่อปรับปรุงผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัว และเทอมอนุพันธ์ (derivative term) หรือเทอม D เพื่อปรับปรุงผลตอบสนองชั่วคราว ตัวควบคุมตระกูล PID ประกอบด้วยตัวควบคุม P (proportional controller) ตัวควบคุม PD (proportional derivative controller) ตัวควบคุม PI (proportional integral controller) และ ตัวควบคุม PID (proportional integral derivative controller) [6] โดยที่ตัวควบคุม PID ได้ถูกประยุกต์ใช้สำหรับการควบคุมอัตโนมัติในวงการอุตสาหกรรมครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1939 และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน ทำให้การอนุวัติง่าย และสะดวกต่อการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ [7] ตัวควบคุมเริ่มแรกที่ได้รับความนิยมได้แก่ การปรับจูนของ Ziegler-Nichols (ZN) การปรับจูนของ Chien-Hrones-Reswick (CHR) และวิธีการปรับจูนของ Cohen-Coon (CC) [8] เป็นต้น ตัวควบคุม PID สามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ของการควบคุมทั้งในด้านการติดตามคำสั่ง (command following) และการควบคุมค่าโหลด (load regulation) [9] สามารถปรับปรุงผลตอบสนองชั่วคราวและผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัวเพื่อให้ระบบมีผลตอบสนองที่รวดเร็วและแม่นยำ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ระบบการควบคุมมุมยกของอากาศยานมีความซับซ้อนการปรับจูนตัวควบคุม PID แบบดั้งเดิมดังกล่าวไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้หลักเกณฑ์การปรับจูนแบบการหาค่าเหมาะที่สุดแนวใหม่ (modern optimization) มีลักษณะเป็นกรอบงานการออกแบบทั่วไป ที่อาศัยเทคนิคการค้นหาแบบอภิศึกษาสำนึก (metaheuristic searching technique) [10] เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวหาค่าเหมาะที่สุด

(optimizer) โดยงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (cuckoo search, CS) และขั้นตอนวิธีของการผสมเกสรดอกไม้ (flower pollination algorithm, FPA) มาทำการหาค่าพารามิเตอร์ของ PID ที่เหมาะสม

การค้นหาแบบนกกาเหว่าได้รับการนำเสนอเป็นครั้งแรกในปีค.ศ.2009 โดย Yang และ Deb [11] ในฐานะนักศึกษาปริญญาโทแบบอิงประชากรที่ทรงประสิทธิภาพ ขั้นตอนวิธีของ CS เลียนแบบพฤติกรรมกรวางไข่ของนกกาเหว่าที่วางไข่ในรังของนกชนิดอื่น ผสมผสานกับพฤติกรรมกรเคลื่อนที่แบบ Lévy flight ของนกและแมลงบางชนิด สมรรถนะการค้นหาค่าผลเฉลยของ CS ได้รับการตรวจสอบกับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาตรฐานทั้งแบบมีเงื่อนไขและไม่มีเงื่อนไข ทั้งแบบวัตถุประสงค์เดียวและหลายวัตถุประสงค์ พบว่า CS มีสมรรถนะการค้นหาค่าผลเฉลยที่เหนือกว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithm, GA) และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (particle swarm optimization, PSO) นอกจากนี้ CS ยังได้รับการพิสูจน์สมบัติการลู่เข้าผลเฉลยวงกว้าง (global convergent) สำหรับขั้นตอนวิธีของการผสมเกสรดอกไม้ (flower pollination algorithm: FPA) ได้รับการนำเสนอครั้งแรกโดย Yang ในปี ค.ศ.2012 [12] ในฐานะนักศึกษาปริญญาโทแบบอิงประชากร ขั้นตอนวิธีของ FPA เลียนแบบพฤติกรรมกรผสมเกสรดอกไม้ของไม้ดอกในธรรมชาติ ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้ ทั้ง CS และ FPA ได้ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในวงกว้าง [13]

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมุมเงยของอากาศยานได้แก่ F.C. Chen และ H.K. Khalil [14] ได้แยกการวิเคราะห์แบบจำลอง (model) ระบบออกเป็นแบบความถี่ต่ำและแบบความถี่สูง โดยมีผลการดำเนินงานที่เหมาะสม และ M Zugaj, J Narkiewicz [15] ได้ออกแบบ

แบบจำลองของอากาศยานเคลื่อนที่ 6 แกน อย่างอิสระ โดยใช้ระบบอันดับ 2 เป็นตัวขับเคลื่อนได้ผลการดำเนินงานอย่างมีประสิทธิภาพ

Z.M. Motea, H.Wahid, J. Zahid, S.H. Lwin, และ Hassan ทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมมุมเงยของอากาศยานที่ออกแบบตัวควบคุม PID กับการใช้ฟัซซี่ (fuzzy controller) [16] ผลจากการออกแบบด้วยฟัซซี่ให้ผลดีกว่าการใช้ตัวควบคุม PID แบบดั้งเดิม และ N. Wahid และ M. F. Rahmat [17] ทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมมุมเงยของอากาศยานที่ออกแบบตัวควบคุม PID ด้วยตัวควบคุมอันดับสองเชิงเส้น (Linear Quadratic Controller (LQR)) กับการใช้ฟัซซี่ (fuzzy controller) พบว่าการออกแบบด้วยการควบคุมอันดับสองเชิงเส้นให้ผลดีกว่า

G. Sudha และ S.N. Deepa [18] หาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบตัวควบคุม PID ด้วยวิธี ZN และวิธี Astrom – Hagglund (A-H) พบว่า วิธี A-H ให้ผลดีกว่า

T. Ljouad, A. Amine และ M. Rziza [19] ออกแบบตัวติดตามวัตถุเคลื่อนที่ (mobile object tracking) ด้วยการผสมขั้นตอนวิธีของ CS กับ วิธีคาร์มาน (Kalman Filter, KF) เปรียบเทียบกับ PSO ปรากฏว่าขั้นตอนวิธีด้วยการผสมขั้นตอนวิธีของ CS กับ KF ได้ผลดีกว่า

V. Tamilselvan และ T. Jayabarathi [20] ได้ทำการออกแบบวิธีวางตำแหน่งคาปาซิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด โดยใช้ขั้นตอนวิธี FPA เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีของการค้นหาแรงโน้มถ่วง (Gravitational Search Algorithm (GSA))

จากงานวิจัยที่กล่าวมาพบว่าได้ทำการออกแบบการควบคุมมุมเงยของอากาศยานด้วยการปรับจูนตัวควบคุม PID โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยนักศึกษาสำนักมาบั้งแล้ว แต่ยังไม่มีการใช้ขั้นตอนวิธีของ CS กับ FPA มาปรับจูนตัวควบคุม PID ควบคุมมุมเงยของอากาศ

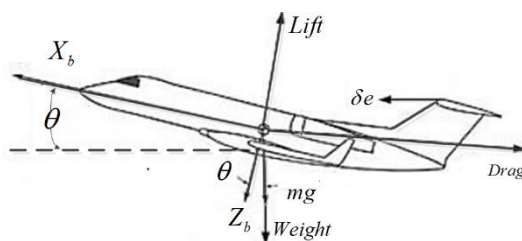
ยานเพื่อรักษาแนวการเคลื่อนที่ของยานอากาศให้คงที่ และทำการตรวจสอบสมรรถนะของขั้นตอนวิธีของ CS กับ FPA ที่เป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้

2. เปรียบวิธีวิจัย

รายละเอียดการวิจัยประกอบด้วย สมการ รูปแบบจำลองของมุมเงยของอากาศยาน ตัวควบคุม PID ขั้นตอนวิธีของ CS ขั้นตอนวิธีของ FPA ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ การหาค่าพารามิเตอร์ของ PID ด้วย CS และด้วย FPA ผลการจำลองหาผลตอบสนอง ด้วย CS และ ด้วย FPA การเปรียบเทียบผลตอบสนองจาก CS กับ FPA และสรุปผล

2.1 สมการพลวัตของระบบควบคุมมุมเงย

ปกติปีกของอากาศยานใช้สำหรับยกเครื่องบินขึ้น ให้สามารถลอยเคลื่อนที่ในอากาศโดยใช้เครื่องยนต์ ขับเคลื่อนด้วยการรักษาดำแหน่งมุมเงย (θ) ให้คงที่แสดง ดังรูปที่ 1 [21]



รูปที่ 1 มุมเงย (θ) ของอากาศยาน [21-22]

จากมุมเงย (θ) ของอากาศยานในรูปที่ 1 สามารถ บรรยายรูปสมการคุณลักษณะเฉพาะของระบบได้ตาม สมการที่ 1, 2, 3 [22] ในขณะที่ อินพุตของระบบคือ มุม

ของความชัน (elevator) ส่วนเอาพุตของระบบจะเป็นมุม เงยของอากาศยาน โดยค่ามุมที่ใช้วัดจะแสดงค่าเป็น เรเดียน

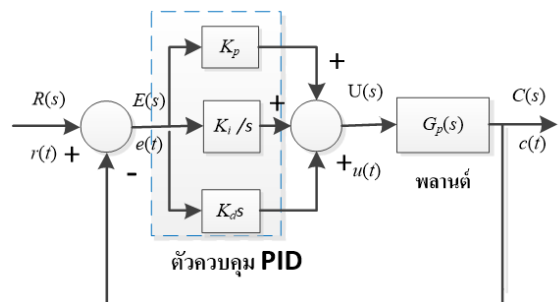
$$\dot{\alpha} = \mu\Omega\sigma[-(C_L - C_D)\alpha + \dots + \frac{1}{(\mu - C_L)}q - (C_w \sin \gamma)\theta + C_L \quad (1)$$

$$\dot{q} = \frac{\mu\Omega}{2i_{yy}}[[C_M - \eta(C_L - C_D)]\alpha + \dots + [C_M + \sigma C_M(1 - \mu C_L)]q + \dots + (\eta C_M \sin \gamma)\delta] \quad (2)$$

$$\dot{\theta} = \Omega q \quad (3)$$

2.2 ตัวควบคุม PID

ตัวควบคุม PID มีโครงสร้างแบบขนาน [23] แสดงวงรอบการควบคุม แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวควบคุม PID โครงสร้างแบบขนาน

เมื่อสัญญาณควบคุม $u(t)$ [24] ของตัวควบคุม PID แสดงในโดเมนเวลาดังสมการที่ 4 และ รูปสมการ ฟังก์ชันถ่ายโอน แสดงดังสมการที่ 5 และ 6 [25]

$$u(t)_{pid} = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4)$$

$$G_{c_pid}(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (5)$$

$$G_{c_pid}(s) = \left(k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \right) \quad (6)$$

เมื่อ τ_i คือค่าคงตัวทางเวลาเชิงปริพันธ์ τ_d คือค่าคงตัวทางเวลาเชิงอนุพันธ์ k_p คือ อัตราขยายเชิงสัดส่วน k_i คือ อัตราขยายเชิงปริพันธ์ k_d คือ อัตราขยายเชิงอนุพันธ์

2.3 การค้นหาแบบนกกาเหว่า

ขั้นตอนวิธีของ CS เลียนแบบพฤติกรรมกราวงไข่ของนกกาเหว่า อาศัยกฎพื้นฐาน 3 ข้อดังนี้ [26]

1) นกกาเหว่าวางไข่ครั้งละ 1 ฟองลงในรังของนกอื่นที่ถูกเลือกแบบสุ่ม

2) รังที่ดีให้คุณภาพของไข่ (หรือผลเฉลย) ที่ดี และได้รับการรักษาเอาไว้

3) จำนวนรังนกถูกกำหนดให้คงที่ และแม่เหล็กเจ้าของรังสามารถค้นพบไข่แปลกปลอม (ไข่นกกาเหว่า) ได้ด้วยความน่าจะเป็น $p_a \in [0, 1]$ ในกรณีที่ไข่ในนกกาเหว่าถูกพบ แม่เหล็กเจ้าของรังอาจกำจัดไข่แปลกปลอมทิ้งไป หรืออาจทิ้งรังเดิมเพื่อไปสร้างรังใหม่ในตำแหน่งอื่นต่อไป

เริ่มแรกกำเนิดผลเฉลยที่มีการแข่งขันกัน ตามสมการที่ 7 และในแต่ละรอบการค้นหา มีคุณสมบัติการสำรวจ (exploration) โดยทำการสุ่มแบบ Lévy (λ) ตามสมการที่ 8

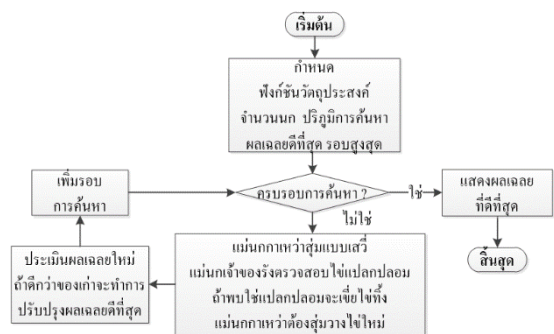
$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha L(\lambda, s) \quad (7)$$

$$L(\lambda, s) \approx \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin(\frac{\pi \lambda}{2})}{\pi s^{1+\lambda}}, (s \gg s_0 > 0) \quad (8)$$

เมื่อ α เป็น ขนาดขั้นของการสุ่ม (step size) และผลเฉลยที่ถูกเลือกอย่างสุ่ม นำมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุด ถ้าผลเฉลยนี้ดีกว่าก็เก็บผลเฉลยนี้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุด จากนั้นก็ทำการสุ่มแบบคุณสมบัติการแสวง (exploitation) ด้วยแบบการแจกแจงแบบปกติตามสมการที่ 9

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \alpha s \otimes H(p_a - \epsilon) \otimes (x_j^{(t)} - x_k^{(t)}) \quad (9)$$

เมื่อ $x_j^{(t)}$ และ $x_k^{(t)}$ เป็นการสุ่ม, $H(u)$ เป็นฟังก์ชันเฮวีไซด์, ϵ เป็นเลขจากการสุ่มด้วยการแจกแจงแบบปกติ ขั้นตอนวิธีของ CS สามารถแสดงด้วยแผนภูมิดังรูปที่ 3 [27]



รูปที่ 3 แผนภูมิการค้นหา CS

2.4 ขั้นตอนวิธีการผสมเกสรดอกไม้

ขั้นตอนวิธีของ FPA เลียนแบบพฤติกรรมกราวงผสมเกสรดอกไม้ของไม้ดอกในธรรมชาติมี 2 แบบคือแบบไขว้ดอก (cross-pollination) และแบบดอกเดียวกัน (self-pollination) อาศัยกฎพื้นฐาน ดังนี้ [28]

1) การผสมเกสรดอกไม้แบบไขว้ดอกทำการสุ่มด้วยการแจกแจงแบบเลวี เป็นการค้นหาวงกว้าง

2) การผสมเกสรดอกไม้ในดอกเดียวกันจะทำการสุ่มด้วยการแจกแจงแบบปกติ เป็นการค้นหาเฉพาะที่

3) ระหว่างดอกไม้แต่ละดอกมีค่าเท่าเทียมกัน (constancy)

4) ใช้ switch probability, $p \in [0, 1]$ เป็นตัวควบคุมแบบการผสมเกสร กล่าวคือ ถ้า $p=0.8$ เป็นการผสมเกสรแบบไขว้ดอก

เบื้องต้นสมมุติฐานว่าแต่ละต้น ไม่มีดอกเดียวและแต่ละดอกไม้มีเกสรเดียวกัน โดยผลเฉลยเป็นเกสรหรือดอกไม้ก็ได้ เริ่มแรกทำการสุ่มดอกไม้จำนวนหนึ่งมาเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดแล้วเก็บไว้เปรียบเทียบกับผลเฉลยใหม่ ในแต่ละรอบของการค้นหาใช้โอกาสความน่าจะเป็น $r \in [0, 1]$ เป็นตัวกำหนดรูปแบบการค้นหา คือถ้า r มีค่าน้อยกว่าความน่าจะเป็น p เป็นการค้นหาวงกว้าง ตามสมการที่ 10

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + L(x_i^{(t)} - gbest) \quad (10)$$

$$s = \frac{U}{|V|^{\lambda-1}}, U(0, \sigma_u^2), V(0, \sigma_v^2) \quad (11)$$

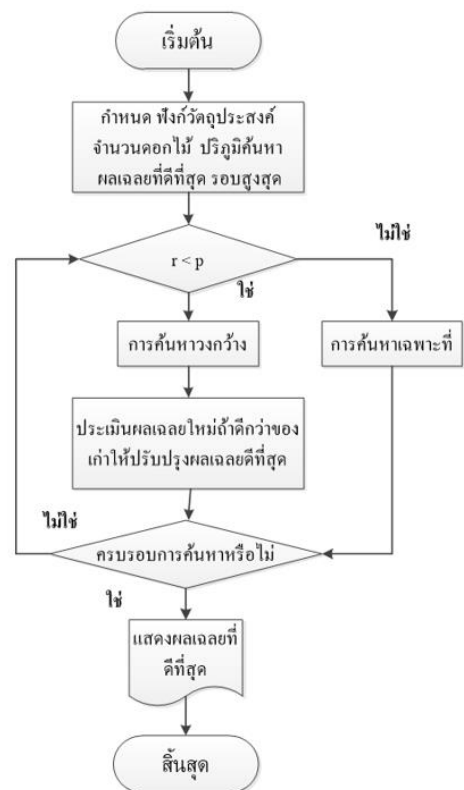
$$\sigma_u^2 = \left[\frac{\Gamma(1+\lambda) \sin(\pi\beta/2)}{\lambda \Gamma((1+\lambda)/2) 2^{(\lambda-1)/2}} \right]^{1/\lambda}, \sigma_v^2 = 1 \quad (12)$$

เมื่อ $\Gamma(\lambda)$ เป็นฟังก์ชัน แกมมามาตรฐานที่ ขนาดขั้นการคำนวณมีค่าเป็นบวก ($s > 0$) ซึ่งมีค่าตามขั้นตอนวิธีของแมคเทคนา (Mantegna) [29] เมื่อ U และ V ในสมการที่ 11 เป็นการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และ ค่า σ_u^2 กับ σ_v^2 เป็นค่าเบี่ยงเบน [30]

ในกรณีที่ $p = 0.2$ หรือน้อยกว่าเป็นการค้นหาเฉพาะที่ตามสมการที่ 13

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + \epsilon(x_j^{(t)} - x_k^{(t)}) \quad (13)$$

เมื่อ $x_j^{(t)}$ และ $x_k^{(t)}$ เป็นค่าสุ่มที่ได้จากข้อมูลชุดเดียวกัน และ $\epsilon \in [0, 1]$ เป็นตัวเลขสุ่ม ทำการตรวจสอบโอกาสความน่าจะเป็น r ถ้าน้อยกว่า p จะเป็นการค้นหาวงกว้าง หลังจากนั้นทำการปรับปรุงค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดครั้งล่าสุด ทำวนไปเรื่อยๆจนครบรอบการค้นหาจึงยุติการกระทำ



รูปที่ 4 แผนภูมิการค้นหา FPA

2.5 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(t)$ ให้อยู่ในรูปของผลรวมของผลต่างยกกำลังสอง (sum-squared error: SSE) ระหว่างสัญญาณอินพุต $r(t)$ และสัญญาณเอาพุต $c(t)$ ตามสมการที่ 14 และเงื่อนไขการค้นหาคตามสมการที่ 15

$$\text{Minimize } f(K_p, K_i, K_d) \Big|_{PID} = \sum_{i=1}^n (r_i - c_i)^2 \quad (14)$$

$$\text{subject to } \left. \begin{array}{l} t_r \leq t_{r_max}, \\ M_p \leq M_{p_max}, \\ t_s \leq t_{s_max}, \\ e_{ss} \leq e_{ss_max}, \\ K_{p_min} \leq K_p \leq K_{p_max}, \\ K_{i_min} \leq K_i \leq K_{i_max}, \\ K_{d_min} \leq K_d \leq K_{d_max} \end{array} \right\} \quad (15)$$

3. การดำเนินการทดลอง

3.1 แบบจำลองของระบบควบคุมมูเมง

พิจารณาข้อมูลจากอากาศยานพาณิชย์โบอิง [21],[31] และ พลวัตการบินเบื้องต้น [32] แทนในสมการที่ 1-3 จะได้ผลในสมการที่ 16-18

$$\dot{\alpha} = -2.02\alpha + q + 0.16\delta \quad (16)$$

$$\dot{q} = -6.9868\alpha - 2.9476q + 11.7304\delta \quad (17)$$

$$\dot{\theta} = q \quad (18)$$

ทำการแปลงสมการ 15-17 ให้อยู่ในรูปลาปลาซได้ตามสมการ 19-21 และจัดรูปให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังสมการที่ 22 [1], [21], [33] ซึ่งจะใช้เป็น พลาเน็ตในงานวิจัยนี้

$$sA(s) = -2.02A(s) + Q(s) + 0.16\Delta(s) \quad (19)$$

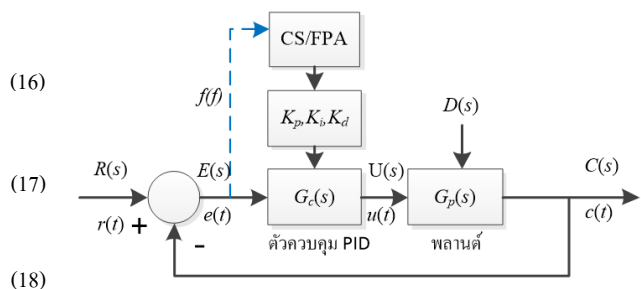
$$sQ(s) = -6.9868A(s) - 2.9476Q(s) + 11.7304\Delta(s) \quad (20)$$

$$s\Theta(s) = Q(s) \quad (21)$$

$$G_p(s) = \frac{\Theta(s)}{\Delta(s)} = \frac{11.7304s + 22.578}{s^3 + 4.9676s^2 + 12.941s} \quad (22)$$

3.2 ข้อกำหนดสมรรถนะการทดสอบ

การทดสอบดำเนินการระบบควบคุมมูเมงของอากาศยานตามรูปที่ 5 คือใช้ขั้นตอนวิธีของ CS/FPA ทำการปรับจูน ตัวควบคุม PID (K_p, K_i, K_d) เพื่อให้มูเมงตามสมการที่ 22 ได้ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันไดหนึ่งหน่วยสอดคล้องกับความต้องการในสมการที่ 23



รูปที่ 5 การทดสอบระบบควบคุมมูเมง

$$\text{subject to } \left. \begin{array}{l} t_r \leq 0.20s, \\ M_p \leq 5\%, \\ t_s \leq 1.0s, \\ e_{ss} \leq 0.01\%, \\ 0 \leq K_p \leq 10, \\ 0 \leq K_i \leq 2, \\ 0 \leq K_d \leq 2, \\ c(t) = \theta(t) \leq 0.2 \text{ rad} \end{array} \right\} \quad (23)$$

3.3 เครื่องมือและการกำหนดค่าทดสอบ

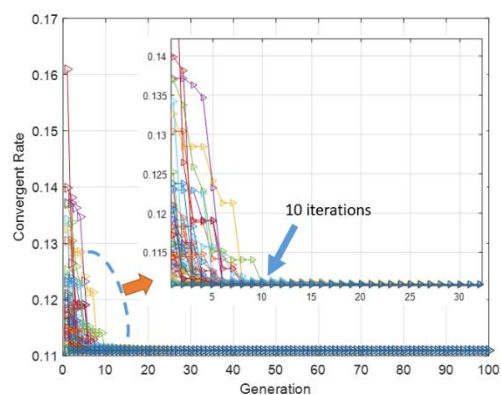
ดำเนินการตามรูปที่ 5 โดยจะใช้ CS / FPA ออกแบบตัวควบคุม PID สำหรับควบคุมมุมเงยของยานอากาศ ซึ่งขั้นตอนวิธี CS / FPA จะถูกพัฒนาเป็นโปรแกรมการค้นหาคำด้วยโปรแกรม MATLAB (2018b: License No. #40637337) ประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ Intel(R) Core(TM) i5-6200U CPU@2.40GHz, 4GB RAM จากนั้นดำเนินการทดสอบสมรรถนะการค้นหาค่าผลเฉลยของ CS / FPA กับระบบควบคุมมุมเงยของอากาศยานตามสมการที่ 22 ด้วยการกำหนดให้ $n = 20$ และ $p_a = 0.2$ (CS) และ $p = 0.8$ (FPA) เพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ของ PID ที่เหมาะสมที่สุด ดำเนินการทั้งหมด 50 ครั้ง (trial) ซึ่งในแต่ละครั้งกำหนดให้เกณฑ์ยุติการค้นหา (TC) เมื่อจำนวนรอบการค้นหา (Gen) มีค่าเท่ากับจำนวนรอบการค้นหาสูงสุด (Max_Gen = 100)

4. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

4.1 ผลการปรับจูน ตัวควบคุม PID ด้วย CS

จากข้อกำหนดข้างต้นพบว่า ผลการทดสอบ

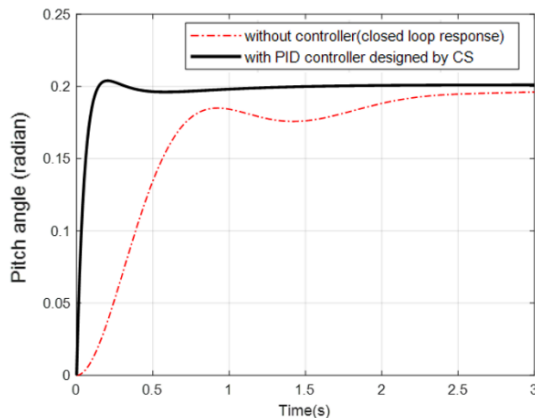
จะได้ $K_p = 9.5$, $K_i = 1.139$ และ $K_d = 1.8$ แสดงอัตราการลู่เข้าหาผลเฉลยในรูปที่ 6 โดยมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เฉลี่ย (f_{mean}) = 0.1111 และเวลาเฉลี่ยในการคำนวณต่อครั้ง (T_{mean}) = 11.0384 s



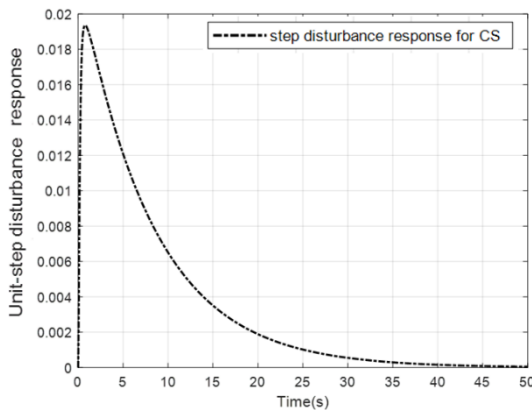
รูปที่ 6 อัตราการลู่เข้าหาผลเฉลยด้วย CS

จากผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได ขณะไม่มีตัวควบคุมกับขณะมีตัวควบคุม PID ด้วย CS แสดงในรูปที่ 7 พบว่าผลตอบสนองของระบบขณะที่ไม่ถูกควบคุมไม่มีค่า M_p แต่มีค่า $t_r = 0.63$ s และ $t_s = 2.94$ s ในขณะที่ผลตอบสนองขณะที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ด้วย CS มีค่า $t_r = 0.0875$ s, $M_p = 1.5453\%$, $t_s = 0.77$ s และ $e_{ss} = 0.01\%$ สำหรับผลตอบสนองขณะคุมค่าโหลดขณะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ด้วย CS แสดงในรูปที่ 8 พบว่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินสูงสุดเนื่องจากโหลด $Mp_{reg} = 10.40\%$

สำหรับผลตอบสนองขณะค้ำโหลด ของระบบควบคุมด้วย CS แสดงในรูปที่ 8 พบว่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินสูงสุดเนื่องจากโหลด $M_{p_reg} = 10.40\%$ และช่วงเวลาค้ำโหลด $t_{reg} = 28\text{ s}$

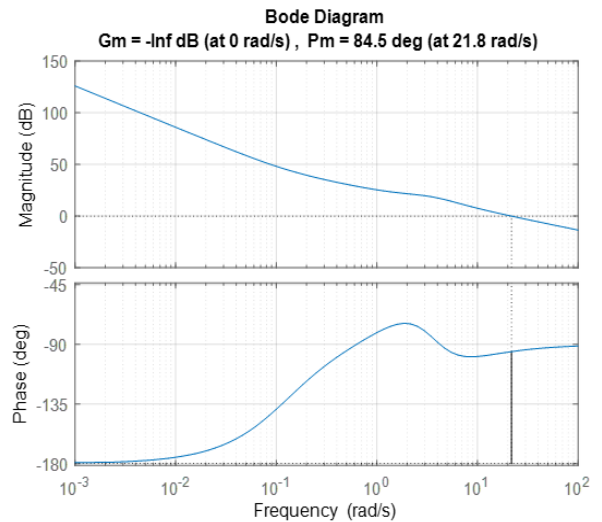


รูปที่ 7 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได
ขณะไม่มีตัวควบคุมกับขณะมีตัวควบคุม PID ด้วย CS



รูปที่ 8 ผลตอบสนองขณะค้ำโหลด ขณะการปรับจูน
PID ด้วย CS

การทดสอบเสถียรภาพด้วยโบดพล็อตในรูปที่ 9 ปรากฏว่ามีค่า phase margin (PM) = 84.5° (21.8 rad/s) ระบบมีเสถียรภาพเพราะว่าค่า PM มีค่าเป็นบวก



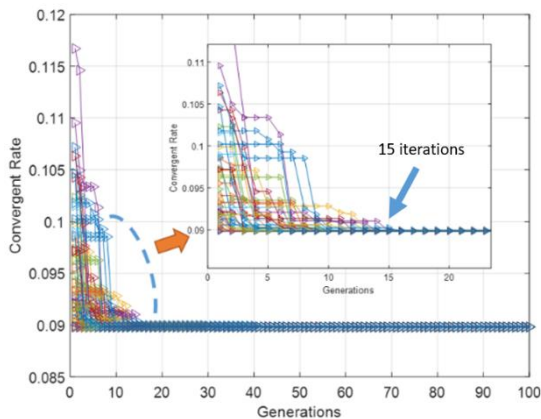
รูปที่ 9 แสดงโบดพล็อตขณะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม
PID ด้วย CS

4.2 ผลการปรับจูนตัวควบคุม PID ด้วย FPA

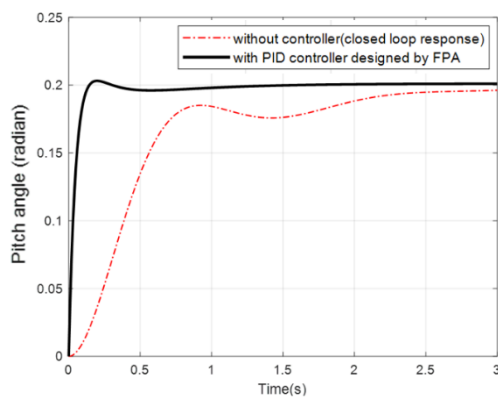
จากข้อกำหนดข้างต้นพบว่าผลการทดสอบได้ $K_p = 9.6$, $K_i = 1.016$ และ $K_d = 1.9$ แสดงอัตราการลู่เข้าหาผลเฉลี่ยในรูปที่ 10 มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงก์เฉลี่ย (f_{mean}) = 0.1147 และเวลาเฉลี่ยในการคำนวณต่อครั้ง (T_{mean}) = 10.9364 s

จากผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได ขณะไม่มีตัวควบคุมกับขณะมีตัวควบคุมด้วย FPA แสดงในรูปที่ 11 พบว่าผลตอบสนองของระบบขณะที่ไม่ถูกควบคุมไม่มีค่า M_p แต่มีค่า $t_r = 0.63\text{ s}$ และ $t_s = 2.94\text{ s}$ ในขณะที่ผลตอบสนองขณะที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม PID ด้วยการปรับจูน FPA มีค่า $t_r = 0.0846\text{ s}$, $M_p = 1.1339\%$, $t_s = 0.78\text{ s}$ และ $e_{ss} = 0.01\%$ สำหรับ

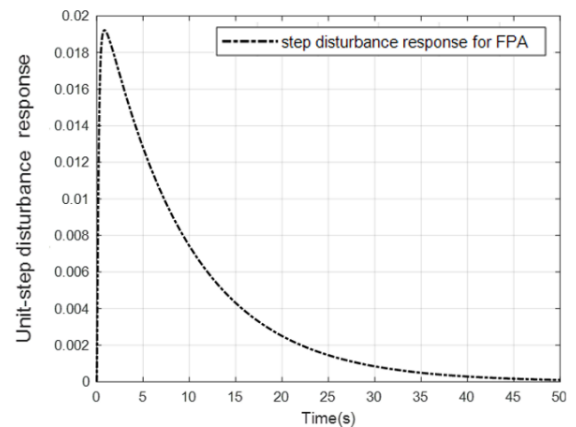
ผลตอบสนองต่อการคุมค่าโหลด แสดงในรูปที่ 12 พบว่าเปอร์เซ็นต์พุ่งเกินสูงสุดเนื่องจากโหลด $M_{p_reg} = 10.13\%$ และช่วงเวลาคุมค่าโหลด $t_{reg} = 30$ s



รูปที่ 10 อัตราการลู่เข้าหาผลเฉลยด้วย FPA

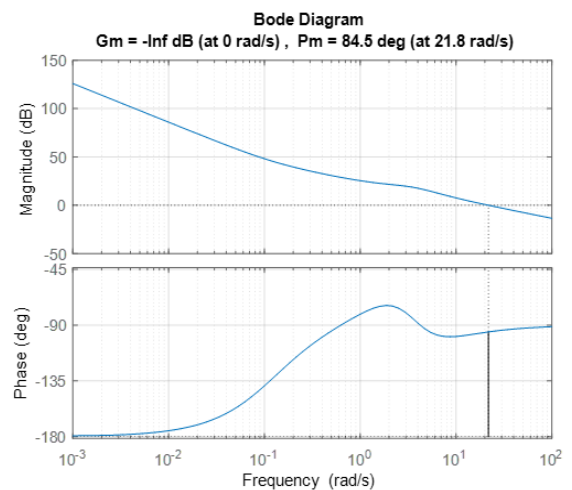


รูปที่ 11 ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได
ขณะไม่มีตัวควบคุมกับขณะมีตัวควบคุม PID ด้วย FPA



รูปที่ 12 ผลตอบสนองขณะคุมค่าโหลด ขณะการ
ปรับจูน PID ด้วย CS

การทดสอบเสถียรภาพด้วยโบดพล็อตในรูปที่ 13
ปรากฏว่ามีค่า phase margin (PM) = 85.3° (22.9 rad/s)
ระบบมีเสถียรภาพเพราะว่าค่า PM มีค่าเป็นบวก



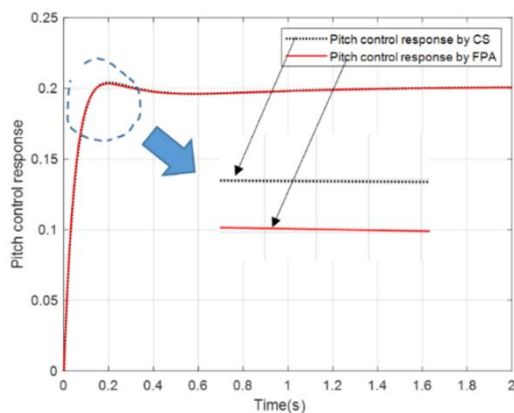
รูปที่ 13 โบดพล็อตขณะถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม PID
ด้วย FPA

4.3 เปรียบเทียบผลการปรับจูนตัวควบคุม PID ด้วย CS

กับ FPA

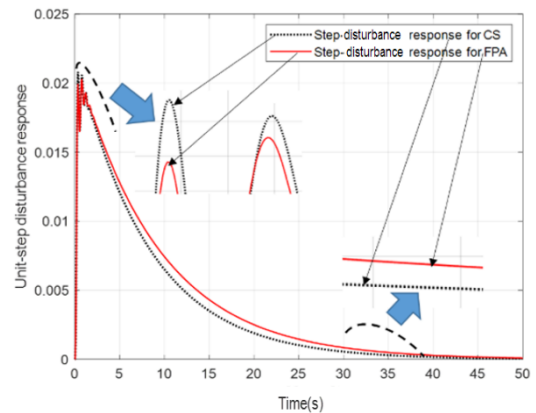
พิจารณาอัตราค่าเข้าหาผลเฉลยด้วย CS ในรูปที่ 6 พบว่า CS สามารถค้นพบผลเฉลยได้ภายใน 10 รอบ และในรูปที่ 10 พบว่า FPA สามารถค้นพบผลเฉลยได้นานกว่าคือ ภายใน 15 รอบ

จากรูปที่ 14 แสดงผลเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันไดขณะปรับจูนตัวควบคุม PID ด้วย CS และ FPA พบว่าการปรับจูนตัวควบคุมด้วย CS จะให้ค่า M_p มากกว่าค่าที่ได้จากการปรับจูนตัวควบคุมด้วย FPA 15 % ซึ่งผลที่ได้ทั้ง 2 วิธีจะมีค่า M_p ไม่เกิน 2% และจะมีค่า t_s ไม่เกิน 1 วินาที ผลได้ตรงตามความต้องการที่กำหนดในสมการที่ 23



รูปที่ 14 เปรียบเทียบผลการตอบสนองต่อสัญญาณเข้าแบบขั้นบันได

จากรูปที่ 15 ขณะคุมค่าโหลดพบว่า ขณะทำการด้วย CS จะมีค่า M_{p_reg} มากกว่าค่าที่ได้จากการปรับจูนตัวควบคุม PID ด้วย FPA ประมาณ 2.7 % และระบบสามารถกลับมาทำงานตามปกติได้ภายในระยะเวลาอันสั้นเพียง 30 วินาทีหลังจากที่ได้รับสัญญาณรบกวน



รูปที่ 15 เปรียบเทียบผลตอบสนองขณะคุมค่าโหลด

การเปรียบเทียบสมรรถนะใช้ระดับคะแนนในตารางที่ 1 และแสดงผลการเปรียบเทียบจากการออกแบบด้วย CS กับ FPA ในตารางที่ 2 ได้ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของ CS กับ FPA แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ระดับคะแนนใช้เปรียบเทียบสมรรถนะ

ระดับคะแนน	คะแนน
น้อย	1
ปานกลาง	2
มาก	3

จากผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของ CS กับ FPA โดยรวมพบว่า FPA มีสมรรถนะดีกว่า CS ในเรื่องของเวลาขึ้น เพอร์เซ็นต์พุ่งเกินสูงสุด เพอร์เซ็นต์พุ่งเกินสูงสุดเนื่องจากโหลด เสถียรภาพ และ เวลาเฉลี่ยในการคำนวณต่อครั้ง

สำหรับ CS มีสมรรถนะดีกว่า FPA ในเรื่องของเวลาเข้าที่ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เฉลี่ยและช่วงเวลาคุมค่าเนื่องจากการรบกวน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการออกแบบด้วย CS กับ FPA

ตัวควบคุม	ค่าพารามิเตอร์			ผลตอบสนองต่อสัญญาณเข้าหนึ่งหน่วย				ผลตอบสนองคุมค่าโหลด	
	K_p	K_i	K_d	$t_r(\text{sec.})$	$t_s(\text{sec.})$	$M_p(\%)$	$e_{ss}(\%)$	$t_{reg}(\text{sec.})$	$M_{p_reg}(\%)$
Only- G_f	-	-	-	0.63	2.94	-	0.01	Out off control	
PID-CS	9.5	1.139	1.8	0.0875	0.77	1.5453	0.01	28	10.40
PID-FPA	9.6	1.016	1.9	0.0846	0.78	1.1339	0.01	30	10.13

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของ CS และ FPA

ตัวควบคุม	t_r	M_p	t_s	e_{ss}	M_{p_reg}	t_{reg}	PM	f_{mean}	T_{mean}	คะแนน
PID-CS	2	2	3	2	2	3	2	3	2	21
PID-FPA	3	3	2	2	3	2	3	2	3	23

5. สรุปผล

จากการใช้หลักเกณฑ์การปรับจูนดำเนินการหาค่าเหมาะที่สุดแนวใหม่ซึ่งมีลักษณะเป็นกรอบงานการออกแบบทั่วไปโดยอาศัยเทคนิคการค้นหาแบบอภิศึกษาสำนึกเพื่อหาค่าเหมาะที่สุดทำหน้าที่เป็นตัวหาค่ามุมเหมาะที่สุดซึ่งในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการค้นหาของ CS และ FPA เพื่อหาพารามิเตอร์ของ PID ที่เหมาะสมผลการออกพบว่าทั้ง CS และ FPA มีความสามารถค้นหาพารามิเตอร์ของ PID ที่เหมาะที่สุดในเวลาอันสั้น ๆ และผลที่ได้จะสอดคล้องกับข้อกำหนดในสมการที่ 23

จากการออกแบบโดยรวมแล้วทั้ง CS และ FPA มีพื้นฐานจากการแจกแจงแบบ Lévy (λ) จึงมีสมรรถนะใกล้เคียงกันมากแตกต่างกันเพียงในเรื่องของเวลาการค้นหาและค่าวัตถุประสงค์ที่อยู่ในรูปของ SSE ซึ่งในงานวิจัยนี้ CS ให้ค่า SSE น้อยกว่า FPA แต่ FPA มีระดับคะแนนเปรียบเทียบสมรรถนะมากกว่า ของ CS (23:21) จึงสรุปได้ว่า FPA มีสมรรถนะเหนือกว่า CS

6. สัญลักษณ์

r/t	สัญญาณเข้า
$e(t)$	สัญญาณคลาดเคลื่อน
$u(t)$	สัญญาณควบคุม
$c(t)$	สัญญาณออก
t_r	เวลาขึ้น
M_p	ค่าพุ่งเกินสูงสุด
t_s	เวลาเข้าที่
e_{ss}	ความคลาดเคลื่อนในสถานะอยู่ตัว
t_{reg}	เวลาคุมค่าโหลด
M_{p_reg}	ค่าพุ่งเกินสูงสุดเนื่องจากโหลด
K_p	อัตราขยายเชิงสัดส่วน
K_i	อัตราขยายเชิงปริพันธ์
K_d	อัตราขยายเชิงอนุพันธ์
f_{mean}	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เฉลี่ย
T_{mean}	ค่าเวลาจำลองเฉลี่ย
g_{best}	ผลเฉลยดีที่สุดปัจจุบัน
L	การกระจายแบบเลวี

α	มุมปะทะ
Q	อัตราเร็วขึ้น
θ	มุมเงย
δ	การเบี่ยงเบนการกระดกขึ้น
ρ	ความหนาแน่นอากาศ
S	พื้นที่ของปีกเครื่องบิน
Ω	ค่าคงที่ $= 2 U/C$
U	ความเร็วบินสมบูรณ์
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยก
C_D	สัมประสิทธิ์แรงดึง
C_T	สัมประสิทธิ์แรงขับ
C_M	สัมประสิทธิ์โมเมนต์
C_W	สัมประสิทธิ์น้ำหนัก
γ	มุมทิศทางบิน
σ	ค่าคงที่ $= 1/(1+\mu C_L)$
i_{yy}	โมเมนต์แรงเฉื่อยมาตรฐาน
η	ค่าคงที่ $= \mu\sigma C_M$

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ที่สนับสนุนการทำวิจัยผ่าน www.emerald.com/insight/ และขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ และบริษัท坎ไซ 1980 เอ็นจิเนียริง จำกัด ที่อนุเคราะห์สถานที่และงบประมาณในการทำวิจัยนี้ ตลอดจนบิดา-มารดาผู้เลี้ยงดูจนมีความรู้ถึงปัจจุบันนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Shaji and R.B. Aswin, "Pitch control of flight system using dynamic inversion and PID controller," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, ISSN: 2278-0181 IJERTV4IS070502, vol. 4, no.7, July. 2015.
- [2] N. Wahid, N. Hassan, M.F. Rahmat and S. Mansor, "Application of intelligent controller in feedback control loop for aircraft pitch control," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 5, no.12, pp.1065-1074, 2011.
- [3] A. Tewari, *Advanced Control of Aircraft Spacecraft and Rockets*, Wiley, 2001.
- [4] R.C. Nelson, *Flight Stability and Automatic Control*, 2nd edition, 2007.
- [5] N. Minorsky, "Directional stability of automatically steered bodies," *American of Naval Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 280-309, 1922.
- [6] K.H. Ang, G.Chong and Y. Li, "PID control system analysis, design, and technology," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 13, no. 4, pp. 559-576, 2005.
- [7] M.Gopal, *Control Systems Principles and Design*, Second Edition, Tata McGraw Hill, 2002.
- [8] A. Abdulameer, M. Sulaiman, MSM Aras and D. Saleem, "Tuning methods of PID controller for DC motor speed control," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 3, no. 2, pp. 343- 349, Aug. 2016.
- [9] R. C. Dorf and R. H. Bishop, *Modern Control Systems*, Pearson Prentice Hall, 2017.

- [10] X. S. Yang, *Engineering Optimization an Introduction with Metaheuristic Application*, John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [11] X. S. Yang and S. Deb, "Cuckoo search via Lévy flights," *World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009)*, pp. 210-214, 2009.
- [12] X.S Yang, "Flower pollination algorithm for global optimization", in *Proc. International Conference on Unconventional Computing and Natural (UCNC 2012)*, Springer, Berlin and Heidelberg, 2012, pp. 240-249.
- [13] M. Abdel-Basset, "A comparative study of cuckoo search and flower pollination algorithm on solving global optimization problems," *Library Hi Tech*, vol. 35, no. 4, pp. 588-601, 2017.
- [14] F.C. Chenand and H.K. Khalil, "Two-time-scale longitudinal control of airplanes using singular perturbation," *AIAA, Journal of Guidance, Navigation and Control*, vol. 13, no. 6, pp. 952-960, 1990.
- [15] M. Zugaj and J. Narkiewicz, "Autopilot supported by nonlinear model following reconfigurable flight control system," *Journal of Aerospace Engineering*, vol. 23, no. 4, pp. 339-347, 2010.
- [16] Z.M. Motea, H.Wahid, J. Zahid, S.H. Lwin and A.M. Hassan, "A comparative analysis of intelligent and PID controllers for an aircraft pitch control system," *Applications of Modelling and Simulation*, vol. 2, no. 1, pp. 17-25, 2018.
- [17] N. Wahid and M. F. Rahmat, "Pitch control system using LQR and fuzzy logic controller," *IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications*, vol. 3, no. 5, pp. 325- 337, Oct. 2010.
- [18] G. Sudha and S.N. Deepa, "Optimization for PID control parameters on pitch control of aircraft dynamics based on tuning methods," *Applied Mathematics &Information Sciences*, vol. 10, no. 1, pp. 343-350, 2016.
- [19] T. Ljouad, A. Amine and M. Rziza, "A hybrid mobile object tracker based on the modified cuckoo search algorithm and the Kalman filter," *Pattern Recognition*, vol. 47, no. 11, pp. 3597-3613, 2014.
- [20] V. Tamilselvan and T. Jayabarathi, "Multi objective flower pollination algorithm for solving capacitor placement in radial distribution system using data structure load flow analysis," *Archives of Electrical Engineering*, vol. 65, no. 2, pp. 203-220, 2016.
- [21] H. Arrosida and M. E. Echsony, "Aircraft pitch control design using observer-state feedback control," *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, vol 2, no 4, pp. 263-272, Nov. 2017.
- [22] X. Liu, S. Sun, P. Lan, and L. Du, "Dynamic surface attack angle control for aircraft considering actuator position saturation," *IEEE Chinese Guidance, Navigation and Control Conference (CGNCC)*, pp. 20–24, 2016.
- [23] V. S. Sowmya, S. P. Dharsini, R. P. Dharshini and P. Aravind, "Application of various PID controller tuning techniques for a temperature system," *International Journal of Computer Applications*, vol. 103, no. 14, pp. 32-34, 2014.
- [24] B. C. Kuo and F. Golnaraghi, *Automatic Control Systems*, John Wiley & Sons, 2010.

- [25] H. O. Bansal, R. Sharma and P. R. Shreeraman, "PID controller tuning techniques: a review," *Journal of Control Engineering and Technology*, vol. 2, pp. 168-176, 2012.
- [26] K. Hussain, M. N. M. Salleh, Y. A. Prasetyo and S. Cheng, "Personal best cuckoo search algorithm for global optimization," *International journal on advanced science engineering and information technology*, vol. 8, no. 4, pp. 1209-1217, 2018.
- [27] X.S. Yang, and S. Deb, "Cuckoo search: recent advances and applications," *Neural Computing and Applications*, vol. 24 no. 1, pp. 169-174, 2014.
- [28] X.S. Yang, "Flower pollination algorithm for global optimization," in Proc. *Unconventional Computation and Natural Computation*, Springer, Berlin and Heidelberg, 2012, pp. 240-249.
- [29] R.N. Mantegna, "Fast, accurate algorithm for numerical simulation of Levy stable stochastic processes," *Physical Review E*, vol. 49, no. 5, pp. 4677-4683, 1994.
- [30] X.S. Yang, M. Karamanoglu and X. He, "Flower pollination algorithm: a novel approach for multi objective optimization," *Engineering Optimization*, vol. 46, no. 9, pp. 1222-1237, 2014.
- [31] F. T. Johnson, E. T. N, and N. J. Yu, "Thirty years of development and application of CFD at Boeing commercial airplanes, seattle," *Computers & Fluids*, vol. 34, no. 10, pp. 1115– 1151, Dec. 2005.
- [32] M. V. Cook, *Flight Dynamics Principles: A Linear Systems Approach to Aircraft Stability And Control*, Butterworth-Heinemann, 2013.
- [33] V. Chugh and J. Ohrin, "GA tuned LQR and PID controller for aircraft pitch control," in Proc. *2014 IEEE 6th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, 8-10 Dec. 2014 .

ประวัติผู้เขียน



ผศ.ดร.น.อ.ไชโย ธรรมรัตน์ ร.น.

ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์
ประจำสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ งานวิจัย

ที่สนใจ ได้แก่ ระบบควบคุมและการประยุกต์อภิศึกษา
สำนึก



นายสุริยัน เลหาเลิศเดช

กรรมการผู้จัดการ บริษัท คันทัน
1980 เอ็นจิเนียริง จำกัด



รศ.ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข

การศึกษา : วิศวกรรมศาสตรดุษฎี
บัณฑิต , สาขา เครื่องกล
วิศวกรรมเครื่องกล

งานวิจัยที่สนใจ : การถ่ายเทความร้อนและอุปกรณ์
แลกเปลี่ยนความร้อน, การปรับอากาศ, กลศาสตร์ของ
ไหล, การไหลหลายสถานะ, ของไหลนาโน

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2566

ชื่อ-นามสกุล

ต้นสังกัด

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ	ศิลปนันท์กุล	มูลนิธิสถาบันเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตและสุขภาวะ
รองศาสตราจารย์ ดร.จรัส	รัตนโชตินันท์	มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย	ฉิมฉวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรนิภา	บริบูรณ์สุขศรี	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล	รัชชะ	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา	บรรจงศิริ	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์	คงตุก	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัตถาภูมิ	ไทยพานิช	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา	เปี้ยวไข่มุก	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวรางค์	รัตนานิคม	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.อมรชัย	ใจยงค์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.พีรยุทธ	รัตนเสลานันท์	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสุพรรณบุรี
ดร.สันติ	ไทยยืนวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.อักรกิตต์	ไชยชนกุลวัฒน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY ตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ โดยมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ บทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในการพิจารณาของวารสารอื่นๆ เรื่องที่จะตีพิมพ์จะต้องได้รับการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 2 คน กองบรรณาธิการอาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้นและทรงไว้ซึ่งสิทธิ์ในการคัดลอกตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research articles) เป็นผลงานที่เตรียมจากข้อมูลของผู้เขียน หรือทีมงานผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตนเอง
2. บทความวิชาการ (Academic articles) อาจแยกเป็นบทความปริทรรศน์ (Review articles) บทความเทคนิค (Technical article) เรียบเรียงจากการสืบค้น ตรวจสอบเอกสารวิชาการในสาขานั้นๆ และบทความพิเศษ (Special articles) เสนอความรู้ทั่วไปในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การเตรียมต้นฉบับบทความ

บทความหรือผลงานวิจัยที่นำเสนออาจอยู่ในรูปแบบภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ โดยจัดพิมพ์ด้วยโปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ สำหรับตาราง แผนภาพและภาพประกอบในส่วน of ต้นฉบับจะต้องตามรูปแบบที่กำหนดเพื่อให้พร้อมตีพิมพ์ได้ทันที (Camera ready) ต้นแบบสำหรับบทความสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ saujournalst.sau.ac.th

การส่งบทความ

ส่ง “ต้นฉบับบทความ” โดยไม่ต้องระบุชื่อที่อยู่และประวัติของผู้ประพันธ์และทีมงานและส่ง “ใบรับรองบทความ” ด้วยอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์นามสกุล PDF และ ไฟล์ Doc ส่งผ่านระบบ Thaijo ได้ที่ วารสาร SAUJOURNALST

บทความทุกบทความที่เสนอมายังวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จะได้รับการกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ หากมีการแก้ไขหรือตอบรับการตีพิมพ์ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับอิเล็กทรอนิกส์ไฟล์นามสกุล PDF และ DOC ของบทความที่แก้ไข สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

โทรศัพท์ : 0-2807-4500-27 # 404 โทรสาร: 0-2807-4528

e-mail : SAUJournalST@sau.ac.th

ต้นฉบับสำหรับบทความที่เขียนเป็นภาษาไทยสำหรับวารสาร

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ชื่อบทความ

Title of the Paper

ชื่อ-นามสกุล ผู้ประพันธ์ (ภาษาไทย)

ชื่อ-นามสกุล ผู้ประพันธ์ (ภาษาอังกฤษ)

ภาค/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย

ที่อยู่/ประเทศ

ผู้พิมพ์ประสานงาน : Your email address

วันที่รับบทความ: / วันที่แก้ไขบทความ: / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์:

บทคัดย่อ นี่คือนิตยสารต้นฉบับสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows โดยจัดระยะขอบบน 3.0 ซม. ระยะขอบขวา ขอบซ้ายและขอบล่าง 2.5 ซม. โดยมีการตั้งค่าขนาดของกระดาษ Custom size (19 ซม.x26.5 ซม.) หลัง “คำสำคัญ:” ให้กำหนดรูปแบบเป็น 2 สดมภ์ ด้วยความกว้าง 6.73 ซม. และระยะห่างสดมภ์ 0.5 ซม. พิมพ์บทความด้วยอักษร Angsana New ขนาด 13pt ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า และสำหรับคำ **บทคัดย่อ คำสำคัญ** และ**เอกสารอ้างอิง** ให้กำหนดเป็นตัวเข้ม-เอียงด้วยอักษร Angsana New ขนาด 14pt

คำสำคัญ : เว้น 1 บรรทัดหลังจากบทคัดย่อ แล้วพิมพ์คำสำคัญของบทความ (4-5 คำ)

Abstract This is a template of your full paper for publishing on SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY. Use Microsoft Word for Windows. Leave 3.0 cm. margins from the top, 2.5 cm. from the right side, left side and bottom. Please adjust the page setup to custom size (19 cm.x26.5 cm.) sheet. Use double-column format width of 6.73 cm. with a space of 0.5 cm. between columns after the keywords. Use 11 point Times New Roman font in typing the abstract. The length of paper should not be longer than 15 pages. For the headings, such as **Abstract**, **Keywords** and **References** use 12 point Times New Roman bold-Italic.

Keywords: Please leave one blank line after the *Abstract* and write your keywords (4-5 words).

1. บทนำ

ชื่อบทความภาษาไทย (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 20pt ตัวเข้ม กลางหน้ากระดาษ) ตามด้วยชื่อบทความภาษาอังกฤษ (ใช้ตัวอักษร Times New Roman ขนาด 16pt ตัวเข้ม กลางหน้ากระดาษ) จากนั้นเว้น 1 บรรทัด ตามด้วยชื่อผู้ประพันธ์ (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt ตัวเข้มกลางหน้ากระดาษ) ภาควิชา/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) และที่อยู่/ประเทศ(ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) จากนั้นระบุ email address ของผู้พิมพ์/ประสานงาน (ใช้ตัวอักษร Times New Roman ขนาด 10pt กลางหน้า) หัวข้อเรื่องแต่ละข้อ (ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 15pt หน้าชิดขอบซ้าย) โดยใช้หมายเลขแบบอินดู อารบิก (1, 2, 3,...) ไม่ใช่แบบเลขโรมัน (I, II, III, ...).

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

สรุปอธิบายถึงขั้นตอนการทดลองและการวิเคราะห์และมีข้อมูลที่เพียงพอสำหรับคนอื่นๆ ที่จะสามารถที่จะทำให้เกิดการทดลองซ้ำได้

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

สำหรับชื่อหัวข้อใหญ่ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 15pt, ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย เรียงลำดับหัวข้อด้วย 1, 2, 3,... (ไม่ใช่ I, II, III,...) การขึ้นหัวข้อใหม่แต่ละครั้งให้เว้น 1 บรรทัด สำหรับสมการคณิตศาสตร์ให้จัดเรียงด้วย (1), (2), (3),...

3.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 1

หัวข้อข้อย่อยลำดับที่ 1 ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 13pt ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย

3.1.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 2

หัวข้อข้อย่อยลำดับที่ 2 ใช้ตัวอักษร Angsana

New ขนาด 13pt ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย

3.2 ตาราง รูป และการอ้างอิง

สำหรับรูปภาพตารางและการอ้างอิงตัวเลขควรเป็นเลขดังนี้ รูปที่ 1 รูปที่ 2, ... ฯลฯ (ที่กึ่งกลาง) และตารางควรจะเป็นเลขดังนี้ Table1, Table2 ... ฯลฯ (ที่ด้านซ้าย) การอ้างอิงในบทความให้ใช้เครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม เช่น [2] จะต้องเรียงลำดับหมายเลขอ้างอิงจากหมายเลขน้อยไปสู่หมายเลขมากให้ถูกต้อง การอ้างอิงหมายเลขที่มีลำดับติดต่อกัน ตัวอย่างเช่น[1-5]

4. สรุปผล

เพื่อให้ทุกบทความที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์มีรูปแบบที่ตรงกัน ผู้ประพันธ์จะต้องจัดทำบทความตามต้นแบบ ไม่เช่นนั้นบทความของท่านจะถูกส่งคืนเพื่อปรับปรุงรูปแบบให้ตรงกับต้นแบบนี้ขอขอบคุณท่านสำหรับการให้ความร่วมมือ

5. กิตติกรรมประกาศ

ในส่วนนี้ไม่จำเป็นต้องมี แต่ท่านสามารถใช้ส่วนนี้ในการนำเสนอให้ทราบถึงผู้ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยของท่าน เช่น นักศึกษาที่มีส่วนร่วม ผู้ที่มีส่วนร่วมจากภายในหรือภายนอก หรือองค์กรที่ให้ทุนสนับสนุน

6. หลักเกณฑ์ในการเขียนเอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงกำหนดให้ใช้ ตัวอักษร Angsana New ขนาด 13pt และเขียนตามตัวอย่างของเอกสารอ้างอิงในแม่แบบนี้ กรณีที่เป็น

เอกสารอ้างอิง [1] หมายถึง “หนังสือ”

เอกสารอ้างอิง [2] หมายถึง “รายงาน”

เอกสารอ้างอิง [3] หมายถึง “วารสาร”

เอกสารอ้างอิง [4] หมายถึง “ประชุมวิชาการ”

เอกสารอ้างอิง [5] หมายถึง “มาตรฐาน”

เอกสารอ้างอิง [6] หมายถึง “เว็บไซต์”

เอกสารอ้างอิง [7] หมายถึง “ปริญญาโท”

เอกสารอ้างอิง [8] หมายถึง “วิทยานิพนธ์”

เอกสารอ้างอิง [9] หมายถึง “คุณวุฒิ”

โดยในกรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษและใส่คำว่า “(in Thai)” ต่อท้าย

เอกสารอ้างอิง

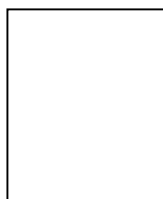
- [1] M. Ned, U. M. Tore and R. P. William, Power Electronic, John Wiley and sons, 1995.
- [2] The Federation of Thai Industries, Executive Summary: Eco-industrial development under the cost to develop green industry, 2013(in Thai).
- [3] D. Susa and H. Nordman, “A Simple model for calculating transformer hot-spot temperature,” *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 24, no.3, pp.1257-1264, Jul. 2009.
- [4] C. Tangsiriworakul, S. Tadsuan, “A Comparison of iron losses and acoustic noise supplied by pwm inverter of dm and spwm techniques,” in *Proc. International Conference on Mechanical and Electrical Technology (ICMET 2009)*, China, 8-11Aug. 2009, pp. 105-110.
- [5] IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65°C or 55°C average winding rise, ANSI/IEEE C57.91-1981.
- [6] Wikipedia. (2010, Jun. 28). “Biodiesel” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- [7] K. Khianjutturut, W. Chaingam, S. Damrongnavavith, S. Nitcumharn, and A. Duangin, “The software implement for electric energy data logger of single-phase kilowatt-hour meter

with image signal processing,” Student’s Project, Dep. Elec. Eng., Southeast Asia Univ., 2014 (in Thai).

- [8] C. Bundanphrai, “A comparison of electric power and temperature on three- phase induction motor by varying wind flow with damper and pwm inverter supply,” M.S. Thesis, Southeast Asia Univ., 2014 (in Thai).
- [9] V. Kinnares, “Measurement, Analysis and prediction of harmonic power losses in pwm feed induction motors,” Ph.D. Dissertations, Univ., Nottingham, 1997.

หมายเหตุ กรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษและใส่คำว่า “(in Thai)” ต่อท้าย

ประวัติผู้ประพันธ์ :



ผู้ประพันธ์ระบุประวัติโดยย่อของตนเอง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับประวัติศึกษาตำแหน่ง สถานที่ทำงาน และงานวิจัยที่สนใจ พร้อม

รูปถ่าย ขนาด 2 ซม. x 2.4 ซม.

Guidelines for Contributors

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY is published two-annually by Southeast Asia University. All articles are considered for publication in this journal will have to follow the following conditions, 1) they have not been published elsewhere and 2) they are not currently being submitted for consideration in any other journals. All articles are independently assessed (peer reviewed) by at least three specialists in their relevant fields. The editor board reserves a privilege to ask the authors to improve their articles, and to decide whether submitted articles should be published or not.

Types of work published

1. Research articles by individual or team researchers.
2. Academic articles include review articles, technical articles, and special articles on science and technology.

Manuscripts

Manuscripts must be prepared to meet professional standards using word processors on Windows. The table, diagrams and illustrations in the contributed manuscripts should be in a camera-ready format. For the template article can be downloaded from the website <http://saujournalst.sau.ac.th>

Submission

The manuscripts of the prospective contributors should be submitted to the editor-in-chief. Authors must submit manuscript (without name, address and authors, biography notifications) with electronic file (PDF) and "Copyright Transfer Form".

- Directly to the editor-in-chief of SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, Faculty of Engineering, Southeast Asia University.

- By mail to the editor-in-chief of SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY, Faculty of Engineering, Southeast Asia University, 19 / 1, Nongkhangphlu, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand.

- By online at Website saujournalst.sau.ac.th

All papers submitted to SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY are subject to peer review. If revised or accepted of article should be submitted the manuscript (PDF and DOC) to the editor-in-chief. You may contact us using the information listed at Southeast Asia University, Tel.#: 0-2807-4500-27 EXT 331, FAX : 0-2807-4528 19/1, Nongkhangphlu, Nongkhaem, Bangkok 10160, Thailand; Email address : SAUJournalST@sau.ac.th

Manuscripts of paper writing as english language for SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Title of the Paper

Author's Names

Department, University

Address, (country)

Corresponding author : e-mail address

Received: / Revised: / Accepted:.....

บทคัดย่อ นี้คือต้นแบบสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windows โดยจัดระยะขอบบน 3.0 ซม. ระยะขอบขวา ขอบซ้ายและขอบล่าง 2.5 ซม. โดยมีการตั้งค่าขนาดของกระดาษ Custom size (19 ซม.x26.5 ซม.) หลัง “คำสำคัญ :” ให้กำหนดรูปแบบเป็น 2 สดมภ์ ด้วยความกว้าง 6.73 ซม. และระยะห่างสดมภ์ 0.5 ซม. พิมพ์บทความด้วยอักษร Angsana New ขนาด 13pt ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า และสำหรับคำบทคัดย่อ คำสำคัญ และ**เอกสารอ้างอิง** ให้กำหนดเป็นตัวเข้ม-เอียงด้วยอักษร Angsana New ขนาด 14pt

คำสำคัญ : เว้น 1 บรรทัดหลังจากบทคัดย่อ แล้วพิมพ์คำสำคัญของบทความ (4-5 คำ)

Abstract This is a template of your full paper for publishing on SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY. Use Microsoft Word for Windows. Leave 3.0 cm. margins from the top, 2.5 cm. from the right side, left side and bottom. Please adjust the page setup to custom size (19 cm.x26.5 cm.) sheet. Use double-column format width of 6.73 cm. with a space of 0.5 cm. between columns. Use 11 point Times New Roman font in typing the abstract. The length of paper should not be longer than 15 pages. For the headings, such as **Abstract**, **Keywords** and **References** use 12 point Times New Roman bold-Italic.

Keywords : Please leave one blank line after the Abstract and write your keywords (4-5 words).

1. Introduction

The title of the paper you must use 16 point Times New Roman in Bold at the center of the page. Leave one blank line and type the authors' names, department and country in capital letters with 11 point Times New Roman in Bold and centered. For the corresponding author, use 11 point Times New Roman centered. The heading of each section should be printed in small 12 point, left justified, bold Times New Roman font. Use Hindu-Arabic number (1, 2, 3,...) for the section's numbering and not the Roman Numerals (I, II, III, ...).

2. Materials and Methods

Brief description of the experimental procedure and analysis and sufficient information for others to be able to reproduce the experiments.

3. Results and Discussion

For section heading, use 12 point left justified Times New Roman in bold, numbered as follows : 1, 2, 3,... (not I, II, III,...). Please leave one blank spaces between successive sections. Mathematical equations must be numbered as follows : (1), (2), (3)....

3.1 Subsection

For subsection heading, use 11 point left justified Times New Roman in bold.

3.1.1 Sub-subsection

When including a sub-subsection, use 11 point left justified Times New Roman in bold.

3.2 Figures, Tables and Reference

Figures should be numbered as follows: Fig.1, Fig.2, ... etc.(at center) and Tables should be numbered as follows: Table.1, Table.2, ... etc.(at Left). Type the corresponding number of references in square brackets.

4. Conclusion

Please follow our instructions faithfully, otherwise, you have to resubmit your paper. This will enable us to maintain uniformity in the journal. Thank you for your cooperation.

5. Acknowledgement

This section is optional. You can use this section to acknowledge support you have had for your research from your colleagues, student's participation, internal or external partners' contribution or funding organization.

6. Rules for writing reference

The letter, in 11 point Times New Roman, will be used for writing reference and the reference in this template being subject to the condition as below :

Ref. [1] stand for "Book"

Ref. [2] stand for "Report"

Ref. [3] stand for "Journal"

Ref. [4] stand for “Conference”

Ref. [5] stand for “Standard”

Ref. [6] stand for “Website”

Ref. [7] stand for “Student’ Project”

Ref. [8] stand for “Thesis”

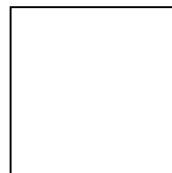
Ref. [9] stand for “Dissertation”

In case of reference written in Thai being used. It need to be translated to English and put the word “(in Thai)” at the back of reference.

References

- [1] M. Ned, U. M. Tore and R. P. William, Power Electronic, John Wiley and sons, 1995.
- [2] The Federation of Thai Industries, Executive Summary: Eco- industrial development under the cost to develop green industry, 2013. (in Thai)
- [3] D. Susa and H. Nordman, “A Simple model for calculating transformer hot- spot temperature,” IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 24, no.3, pp. 1257-1264, Jul. 2009.
- [4] C. Tangsiriworakul, S. Tadsuan, “A Comparison of iron losses and acoustic noise supplied by pwm inverter of dm and spwm techniques,” in Proc. International Conference on Mechanical and Electrical Technology (ICMET 2009), China, 8-11 Aug. 2009, pp. 105-110.
- [5] IEEE Guide for loading mineral-oil-immersed overhead and pad-mounted distribution transformers rated 500 kVA and less with 65 °C or 55 °C average winding rise, ANSI/ IEEE C57.91-1981.
- [6] Wikipedia. (2010, Jun. 28). “Biodiesel” [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>
- [7] K. Khianjutturut, W. Chaingam, S. Damrongnavavith, S. Nitcumharn, and A. Duangin, “The software implement for electric energy data logger of single-phase kilowatt-hour meter with image signal processing,” Student’s Project, Dep. Elec. Eng., Southeast Asia Univ., 2014. (in Thai)
- [8] C. Bundanphrai, “A comparison of electric power and temperature on three-phase induction motor by varying wind flow with damper and pwm inverter supply,” M.S. Thesis, Southeast Asia Univ., 2014. (in Thai)
- [9] Kinnares, “Measurement, Analysis and prediction of harmonic power losses in pwm feed induction motors,” Ph. D. Dissertations, Univ., Nottingham, 1997.

Authors’ Biography:



The author should include a brief introduction about his/ her interest in the research topic and a scanned 2 cm. x 2.4 cm.

photo attached the original manuscript



หมายเลขบทความ
(เฉพาะเจ้าหน้าที่กรอก)

แบบฟอร์มใบรับรองบทความ SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

1. ประเภทของบทความ

☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการปริทรรศน์ ☐ บทความวิชาการเทคนิค ☐ บทความวิชาการพิเศษ

2. สาขาบทความที่ส่ง

☐ Electrical Engineering ☐ Electronic & communication Engineering ☐ Industrial Engineering
☐ Civil Engineering ☐ Computer Science & Engineering ☐ Mechanical Engineering
☐ Agricultural Engineering ☐ Occupational Health & Safety ☐ Environment Engineering

3. ชื่อบทความ

ภาษาไทย.....

ภาษาอังกฤษ.....

4. ชื่อ-สกุลของผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding author).....

5. สถานที่ติดต่อของผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding author) ที่อยู่.....

.....

..... โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

6. รายชื่อและที่อยู่ของเจ้าของบทความทั้งหมด

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย ตัวบรรจง)	ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ ตัวบรรจง)	หน่วยงาน	โทรศัพท์	E-mail
1.				
2.				
3.				

4.				
5.				

7. เสนอรายชื่อผู้ประเมิน

ชื่อ-สกุล	หน่วยงาน	โทรศัพท์	E-mail
1.			
2.			
3.			

8. การรับรองบทความ

☐ ขอรับรองว่าบทความต้นฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน
ขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นจริงทุกประการ

ลงชื่อ.....ผู้รับผิดชอบ
(.....)
วัน..... เดือน..... พ.ศ.

หมายเหตุ ส่งแบบฟอร์มนี้มาพร้อมกับบทความตามช่องทางในคำแนะนำสำหรับผู้เขียน (การส่งบทความ)



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิก SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล อาชีพ

ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรสาร E-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

☐ ปี (2 ฉบับ/ปี)

500 บาท

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน บาท

จำนวนเงิน(ตัวอักษร)

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร ชื่อบัญชี เลขที่บัญชี

หมายเหตุ 1. กรุณาส่งสำเนาใบเสร็จการจ่ายเงินมาที่ E-mail Address : saujournalST@sau.ac.th หรือโทรสารมาที่
หมายเลข 0-2807-4528 พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

ลงชื่อ ผู้สมัคร

(.....)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแวง กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ 0-2807-4500-27 ต่อ 331 โทรสาร 0-2807-4528 E-mail Address : SAUJournalST@sau.ac.th



มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
SOUTHEAST ASIA UNIVERSITY

สาขาวิชาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เปิดสอน

ปริญญาเอก

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (ปส.ด.)

ปริญญาโท

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วศ.ม.)

สาขาวิชาบริหารงานวิศวกรรมก่อสร้าง (วศ.ม.)

ปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (IoT) (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (วศ.บ.)

สาขาวิชาดิจิทัลมีเดีย (วท.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัย (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ (วศ.บ.)

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ (วท.บ.)

ติดต่อศูนย์รับสมัคร

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม (ติดซอยเพชรเกษม 106) เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

โทรศัพท์ : 02-8074500 - 27 ต่อ 190,192

WWW.SAU.AC.TH

