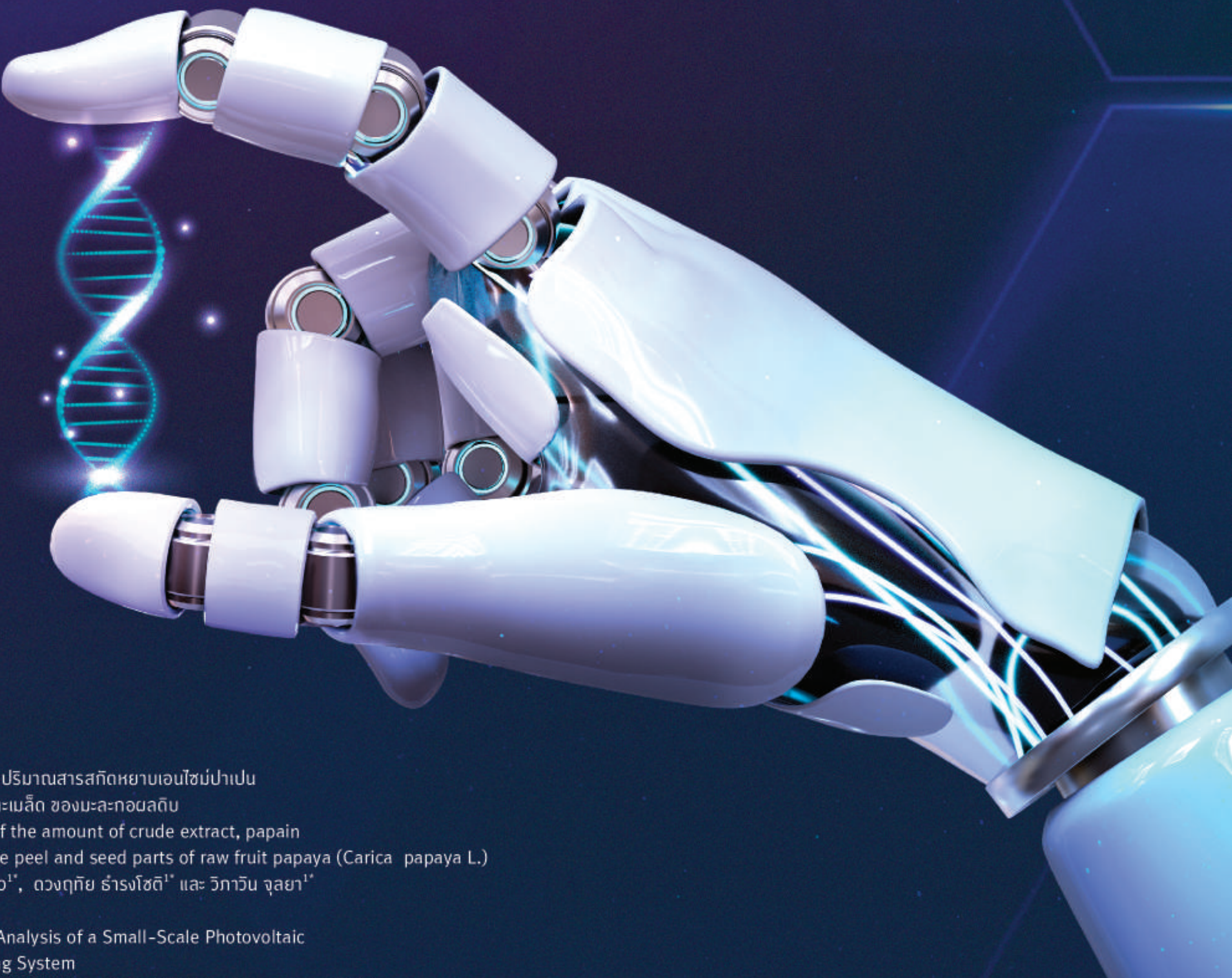
ISSN : 2408-235X

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

Volume 8 | Number 1 | January – June 2022



บทความวิจัย

การเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน
ในส่วนเปลือกและเมล็ด ของมะละกอผลดิบ
Comparison of the amount of crude extract, papain
enzymes in the peel and seed parts of raw fruit papaya (Carica papaya L.)
ดวงทิพย์ ไข่แก้ว[1*], ดวงฤทัย ธำรงโชติ[1*] และ วิภาวิน จุลยา[1*]

Performance Analysis of a Small-Scale Photovoltaic
Water Pumping System
Montana Rungsiyopas[1] and Chokchai Chuenwattanapraniti[2*]

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นภาษากายของคน
สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อ
Using the Convolution Neural Network to Predict Human Body Languages
for Two Wheel Drive Robot Control
ดำรงค์ศักดิ์ กิจเดช* และ วีระพันธ์ ด้วงทองสุข

Prostate Cancer Treatment Using Fixed-Time Synergetic Controller
Arsit Boonyaprapasorn[1*], Suwat Kuntanapreeda[2],
Parinya Sa Ngiamsunthorn[3] and Kaned Thung-Od[4]

SAUJOURNAL.SAU.AC.TH

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

เจ้าของ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

ที่ปรึกษา

ดร.ฉัททวุฒิ พีชผล

บรรณาธิการ

รศ.ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.วีระพันธ์ ด้วงทองสุข กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ดร.ภานุวัฒน์ แตระกุล กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

ผศ.จิรัฐิติ์ บรรจงศิริ กรรมการ (มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์)

พันเอก ผศ.ดร.ชวน จันทวาลย์ กรรมการ (ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า)

รศ.ดร.สมบัติ ทีฆทรัพย์ กรรมการ (มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย)

รศ.ดร.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิธรรม กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)

รศ.ดร.ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ กรรมการ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี)

กรรมการบริหาร

รศ.ประสิทธิ์ สุขเสริม ผศ.ดร.สมเกียรติ เพียงพรานทอง

ผศ.ดร.ณัฏฐ์ โอธนาทรัพย์ ผศ.วราธร แก้วแสง

ผศ.วีระพงษ์ กาญจนวงศ์กุล ผศ.เสรี ชื่นอารมณ์

ผศ.พรนิภา บริบูรณ์สุขศรี นายวฐา ยงสมิทธ์

นายมานิตย์ ธิมาทา

ฝ่ายพัฒนา ดูแลและปรับปรุงเวปไซต์

นางสาวรุ่งทิวา ลังกาพินธ์ นายระพี วาทะศรีศิลป์

นางสาวจิราภรณ์ ปรากฏ

ฝ่ายเลขานุการ

นางสาวชุมภูนุช แย้มรู้การ นางณัฐภาวี จิระภาพันธ์

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

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานบทความวิจัยและบทความวิชาการ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหการ อาชีวอนามัยและความปลอดภัย วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมเกษตร
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างนักวิจัย นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป
3. เพื่อเป็นเอกสารรวบรวมรายงานและบทความวิจัยที่น่าสนใจ และมีคุณค่าทางวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดองค์ความรู้ใหม่แก่นักวิจัยของมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 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 เป็นทรรศนะส่วนตัวของผู้เขียน 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 8 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2565 ปัจจุบันเป็นวารสารที่ได้รับรองให้อยู่ในฐานข้อมูลของ TCI 2

จากผลการดำเนินงานของวารสารฉบับนี้มีบทความที่น่าสนใจทั้งหมด 4 บทความ เป็นบทความวิจัย ได้แก่ เรื่อง “การเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนในส่วนเปลือกและเมล็ดของมะละกอผลดิบ” เรื่อง “Performance Analysis of a Small-Scale Photovoltaic Water Pumping System” เรื่อง “การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นภาษากายของคนสำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อ” และ เรื่อง “Prostate Cancer Treatment Using Fixed-Time Synergetic Controller” ซึ่งกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้จากงานวิจัยต่าง ๆ ในวารสารเล่มนี้เป็นอย่างมาก

และในนามของ กองบรรณาธิการวารสาร ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ประเมินบทความทุกท่าน ที่ยอมเสียสละเวลาอันมีค่าช่วยกลั่นกรองงานวิจัยให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น รวมถึงคณาจารย์ นักศึกษา บุคคลทั่ว ๆ ไปทุกท่าน ที่ให้ความสนใจส่งบทความเพื่อเข้าสู่ขบวนการพิจารณาคุณภาพเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ด้วยเหตุดังกล่าวนี้ทำให้กองบรรณาธิการทุกท่านมีกำลังใจเป็นอย่างมากในการพัฒนาวารสารฯ ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย **หน้า**

การเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนในส่วนเปลือกและเมล็ด ของมะละกอผลดิบ 1
Comparison of the amount of crude extract, papain
enzymes in the peel and seed parts of raw fruit papaya (Carica papaya L.)
ดวงทิพย์ ไข่แก้ว[1] , ดวงฤทัย ธำรงโชติ[1*] และ วิภาวัน จุลยา[1*]*

Performance Analysis of a Small-Scale Photovoltaic Water Pumping System 10
The Comparison of Electrical Energy and the Economics
Montana Rungsiyopas[1] and Chokchai Chuenwattanapraniti[2]*

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นภาษากายของคน สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อ 28
Using the Convolution Neural Network to Predict Human Body Languages
for Two Wheel Drive Robot Control
ดำรงค์ศักดิ์ กิจเดช[*] และ วีระพันธ์ ด้วงทองสุข

Prostate Cancer Treatment Using Fixed-Time Synergetic Controller 40
Arsit Boonyaprapasorn[1], Suwat Kuntanapreeda[2], Parinya Sa Ngiamsunthorn[3]*
and Kaned Thung-Od[4]

การเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนในส่วนเปลือกและเมล็ดของมะละกอผลดิบ

Comparison of the amount of crude extract, papain enzymes in the peel and seed parts of raw fruit papaya (*Carica papaya L.*)

ดวงทิพย์ ไข่แก้ว[1*] , ดวงฤทัย ธำรงโชติ[1*] และ วิภาวัน จุลยา[1*]

Doungtip Kaikaew[1*], Duangrutai Thumrongchote[1*]and Wipavan Julaya[1*]

สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

149 ถนนเจริญกรุง แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : doungtip.s@mail.rmutk.ac.th

วันที่รับบทความ: 19 กันยายน 2564 / วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 1: 23 พฤศจิกายน 2564 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 11 กุมภาพันธ์ 2565

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 2: 8 กุมภาพันธ์ 2565

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเปลือกและส่วนเมล็ดของมะละกอผลดิบ และทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากส่วนเหลือใช้ของมะละกอผลดิบต่างสายพันธุ์ ซึ่งใช้มะละกอผลดิบพันธุ์ฮอลแลนด์ พันธุ์แขกนวล และพันธุ์แขกดำ ปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเปลือกและส่วนเมล็ดของมะละกอพันธุ์แขกดำมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับ 131.34 และ 169.13 mg/ml ตามด้วยพันธุ์แขกนวล 105.47 และ 147.33 mg/ml และพันธุ์ฮอลแลนด์ 92.67 และ 145.58 mg/ml ตามลำดับ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเมล็ดมีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนมากกว่าจากส่วนของเปลือกมะละกอผลดิบด้วยการวัดแรงเฉือนด้านเนื้อสัมผัส สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้ของมะละกอผลดิบพันธุ์แขกดำมีประสิทธิภาพสูงที่สุดทั้งจากส่วนของเมล็ดและส่วนของเปลือก มีค่าเฉลี่ยแรงเฉือนเท่ากับ 101.35 N และ 136.22 N ประสิทธิภาพการย่อยสลายโปรตีนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเป็นกรดด่าง

คำสำคัญ **:** มะละกอ, เอนไซม์ปาเปน, สารสกัดหยาบ

Abstract *:* This research compares the amount of crude extracts, papain enzymes extracted from the peel and seed parts of raw papaya, and tests the effectiveness of coarse extracts from the waste parts of different varieties of raw papaya. Which uses raw papaya variety of Holland Kuekdam and Kueknuan. The amount of crude extracts, papain enzymes extracted from the peel and seed portions of Kuekdam varieties, was as high as 131.34 and 169.13 mg/ml, followed by 105.47 and 147.33 mg/ml Kueknuan varieties and Holland varieties of 92.67 and 145.58 mg/ml respectively. Crude extraction, papain enzymes extracted from the seed part are more effective at digesting proteins than from the portions of raw fruit papaya peel by measuring texture shear. Crude extract, papain enzyme extract of papaya, raw fruit, Kuekdam

varieties, has the highest efficiency both from the seed part and the part of the peel. The shear average is 101.35 N and 136.22 N. The effectiveness of protein degradation depends on temperature and alkaline acidity.

Keywords : Papaya, Papain enzymes, Crude extracts

1. บทนำ

เอนไซม์มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของอาหารในกระบวนการแปรรูปอาหาร โดยได้มีการเติมเอนไซม์ลงไปในอาหารเพื่อที่จะปรับปรุงหรือเร่งกระบวนการผลิต ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะและคุณภาพที่ดี ซึ่งเอนไซม์ได้มาจากพืช สัตว์และจุลินทรีย์ โดยเอนไซม์ที่ได้จากพืช เช่น เอนไซม์ปาเปนจากมะละกอ เอนไซม์โบรมิเลนจากสับปะรด และเอนไซม์ฟิซินจากมะเดื่อ เอนไซม์ที่ได้จากสัตว์ เช่น เอนไซม์ทริปซินจากตับอ่อนสัตว์ เอนไซม์เพปซินจากกระเพาะอาหารสัตว์ ส่วนเอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์ เช่น เอนไซม์นิวเทรสจากแบคทีเรีย เอนไซม์ ฟลาโวไซม์จากเชื้อรา ส่วนใหญ่แล้วผู้บริโภคจะยอมรับเอนไซม์จากพืชมากกว่าจากสัตว์และจุลินทรีย์ [1] เอนไซม์ปาเปนจัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มของซีสเตอีนโปรตีเอสที่สกัดได้จากยางและเนื้อเยื่อพืชในมะละกอผลดิบ มีความเสถียรที่อุณหภูมิช่วง 30 – 40 องศาเซลเซียส และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยความเสถียรขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและชนิดของเอนไซม์ สำหรับสภาวะความเป็นกรดด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์จะอยู่ในช่วง 5 – 9 ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมีความเสถียรที่สภาวะเป็นกลาง [2] การใช้เอนไซม์จากพืชก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันเพื่อช่วยในการย่อยสลายโปรตีนในระดับอุตสาหกรรมมีการใช้เอนไซม์ปาเปนบริสุทธ์ผลิตเครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์เนื้อ เบียร์ และหนังสัตว์ เป็นต้น มีกระบวนการสกัดที่ยุ่งยาก ใช้ต้นทุนสูงและราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการสกัดหยาบเอนไซม์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่มีกระบวนการสกัดง่าย สะดวก ปลอดภัย และใช้ต้นทุนค่อนข้างต่ำ

มะละกอเป็นผลไม้เขตร้อนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Carica papaya L.* นิยมเรียกกันทั่วไปว่า papaya มีอยู่ 4 สกุลซึ่ง 3 สกุลมีถิ่นกำเนิดในทวีปแอฟริกา ซึ่งได้มีการนำเอามะละกอเข้ามายังเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในสมัยกรุงศรีอยุธยา เป็นต้นไม้ที่ขนาดเล็กเป็นพุ่มใบรวมกันเป็นกระจุก โดยมีน้ำยาง อยู่ทุกส่วนของลำต้นแต่จะมีมากในส่วนของใบ ลำต้น และผลดิบ ส่วนใหญ่มีการสกัดเอนไซม์ปาเปนจากส่วน ที่เหลือใช้ของมะละกอ ได้แก่ ใบ ก้านใบ ลำต้น และผลดิบ สำหรับสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่มีปริมาณมากที่สุดได้มาจากส่วนของยางมะละกอผลดิบโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายในการสกัด [3] สารสกัดเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้มีความแตกต่างกันไปตามส่วนต่างๆ ของพืช โดยได้จากส่วนของผลดิบมากที่สุดและจากใบน้อยที่สุด [4] ซึ่งยังไม่พบว่ามีการสกัดเอนไซม์ปาเปนในส่วนของเมล็ดของผลดิบ

ประเทศไทยมีการบริโภคมะละกอผลดิบเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีหลากหลายสายพันธุ์ที่นิยมบริโภค ได้แก่ แขกดำ แขกนวล ฮอลแลนด์ ดำเนิน ปากช่อง เป็นต้น โดยใช้เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อของผลดิบเท่านั้น ส่วนในอุตสาหกรรมมีการผลิตเอนไซม์ปาเปนเพื่อใช้ในการย่อยหรือตกตะกอนโปรตีนสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และเครื่องใช้ โดยได้จากการสังเคราะห์ที่ต้องใช้ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในกระบวนการผลิตทั้งหมดจึงส่งผลทำให้ราคาเอนไซม์สูงตามไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการสกัดเอนไซม์ปาเปนเพื่อเปรียบเทียบปริมาณและประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบที่สกัดได้จากส่วนที่เหลือใช้ในส่วนของเปลือก

เมล็ดของมะละกอผลดิบสายพันธุ์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเลือกใช้เอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากวัตถุดิบธรรมชาติและเพิ่มมูลค่าให้กับเปลือกและเมล็ดของมะละกอ ซึ่งเป็นการนำเอาส่วนที่เหลือใช้ที่เป็นผลผลิตทางการเกษตรมาใช้ให้เป็นประโยชน์พร้อมทั้งลดปริมาณการสูญเสียวัตถุดิบและยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตเอนไซม์ได้ด้วย

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากส่วนเหลือใช้ของมะละกอผลดิบ

การเตรียมสารสกัดหยาบตามวิธีของ Arpassorn และคณะ [3] เพื่อไม่ให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติ โดยเตรียมจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอผลดิบ 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ฮอลแลนด์ สายพันธุ์แขกดำ และสายพันธุ์แขกนวล ด้วยการนำไปปั่นกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 2:1 (กรัมต่อปริมาตร) กรองเอากากออก นำเอาส่วนที่เป็นของเหลวไปทำการเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge : HERMLE, Model WB 10, Germany) ที่ความเร็วรอบ 6000 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บสารสกัดหยาบที่ได้เป็นส่วนของสารละลายที่ใส่ไว้ในขวดแก้วและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปศึกษาด้านปริมาณและด้านประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนต่อไป

2.2 การตรวจสอบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนเหลือใช้ของมะละกอผลดิบ

2.2.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

โดยการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับระดับความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน Brovine Serum Albumin (BSA) ด้วยการเจือจางสารละลายมาตรฐาน BSA ให้มีความเข้มข้น 0, 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (μg/ml) ใส่สารละลาย Bio - Rad 5 มิลลิลิตร ในหลอดทดลองที่มีสารละลายมาตรฐาน BSA เข้มข้น แต่ละระดับอยู่ที่ 1 มิลลิลิตร นำไปใส่ในเครื่องหมุนผสม (Vortex Mixer : Vortex-Genie2 Scientific, United States) อย่างน้อย 5 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ แล้วนำสารสกัดหยาบที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร ด้วยการใช้เครื่อง Spectrophotometer (รุ่น Biochrome libra S70PC Double Beam, United States) แล้วคำนวณสมการเส้นตรง R-Squared (R^2) จากกราฟ

2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนเหลือใช้ของมะละกอผลดิบแต่ละสายพันธุ์

การวิเคราะห์หาปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนด้วยวิธี Bradford Protein Assay [5] โดยการเตรียมสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเปลือกและส่วนเมล็ดของมะละกอผลดิบพันธุ์แขกดำ พันธุ์แขกนวล และพันธุ์ฮอลแลนด์ มาทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่ระดับการเจือจาง 10^{-1} แล้วนำสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่ผ่านการเจือจางแล้วมา 1 มิลลิลิตร บรรจุลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายละลาย Bio - Rad 5 มิลลิลิตร แล้วใส่ลงในเครื่องหมุนผสม (Vortex Mixer : Vortex-Genie2 Scientific, United States) อย่างน้อย 5 นาที เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ หลังจากนั้นจึงนำสารละลายที่มีอยู่ในหลอดทดลองทั้งหมดไปทำการวัดหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer (รุ่น Biochrome libra S70PC Double Beam, United States) ที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร เมื่อได้ค่าดูดกลืนแสงแล้วก็นำค่าดูดกลืนแสงทั้งหมดที่ได้ไปแทนค่าในสมการเส้นตรงบนกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณหาปริมาณโปรตีนที่อยู่ในสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนในส่วนเปลือกและเมล็ดของมะละกอผลดิบแต่ละสายพันธุ์

โดยการย่อยโปรตีนจากการนำสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเปลือกและแมล็ดของมะละกอแต่ละสายพันธุ์ ในปริมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักเนื้อวัว หมักกับเนื้อวัวสันนอกที่มีขนาด กว้าง 2.5 ± 0.5 เซนติเมตร ยาว 4 ± 0.5 เซนติเมตร และ สูง 1 ± 0.5 เซนติเมตร เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำเนื้อวัวสันนอกมาลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาสเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ทำการวัดแรงเฉือน (Shear force) ด้วยเครื่อง Texture Analysis รุ่น TA TXplus และใช้หัววัดรหัส HDP/BSK

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design: RCBD) และทำการทดลอง 3 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วย ANOVA และหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ทางสถิติ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการเตรียมสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนเหลือใช้ของมะละกอผลดิบ

จากการสกัดสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดมะละกอพันธุ์แขกดำ แขกนวล และฮอลแลนด์ พบว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากเปลือกมะละกอมีลักษณะเป็นสารละลายใสมีสีเขียว โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกมะละกอพันธุ์แขกดำมีสีเขียวมากกว่า รองลงมาเป็นพันธุ์แขกนวลและพันธุ์ฮอลแลนด์ ในเปลือกของมะละกอผลดิบมีสีเขียวที่เรียกว่าคลอโรฟิลล์(Chlorophyll) ซึ่งเป็นเม็ดสีหรือรงควัตถุที่สามารถละลายได้ในน้ำมันและสารละลายอินทรีย์สามารถสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับแสง ความร้อน และในสภาวะความเป็นกรดด่าง [6] ในการสกัดใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีผลต่อการเสียสภาพธรรมชาติของเอนไซม์แต่สามารถทำให้รงควัตถุละลายออกมาได้จึงส่งผลให้รงควัตถุสีเขียวกระจายตัวอยู่ในสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้ ซึ่งตามธรรมชาติแล้วเปลือกของมะละกอผลดิบมีสีเขียวแต่จะมีความเข้มของ สีเขียวแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์มะละกอ โดยมะละกอพันธุ์แขกดำจะมีเปลือกสีเขียวเข้มมากที่สุด และตามด้วยพันธุ์แขกนวล และพันธุ์ฮอลแลนด์ แสดงว่าให้เห็นสารสกัดหยาบจากส่วนเปลือกของมะละกอที่ได้จะมีสีเขียวจากคลอโรฟิลล์ในเปลือกของมะละกอและมีความเข้มของสีขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์มะละกอ

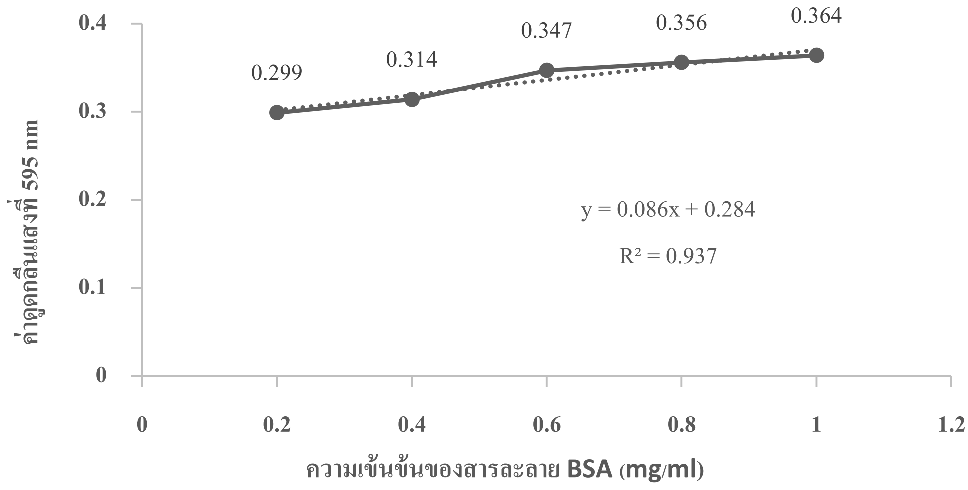
สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเมล็ดมะละกอพันธุ์แขกดำ แขกนวล และฮอลแลนด์ มีลักษณะเป็นสารละลายสีขาวใส เนื่องจากในเมล็ดของมะละกอดิบมียางสีขาวเมื่อนำมาผ่านการสกัดและผ่านการหมุนเหวี่ยงให้ตกตะกอนและจับตัวกันอยู่ที่ก้นหลอดทดลอง ซึ่งมีส่วนของสารละลายสีขาวใสอยู่ด้านบน ดังนั้นสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จึงมีลักษณะเป็นสีขาวใสเหมือนกัน

3.2 ผลการตรวจสอบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนเหลือใช้ของมะละกอผลดิบแต่ละสายพันธุ์

3.2.1 ผลการสร้างกราฟมาตรฐาน

จากการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโปรตีนมาตรฐาน Brovine Serum Albumin (BSA)

ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย BSA ที่ระดับความเข้มข้น 200, 400, 600, 800 และ 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยทำปฏิกิริยาสมบูรณ์กับสมสารละลาย Bio - Rad ซึ่งวัดค่าดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0.299, 0.314, 0.347, 0.356 0.364 เมื่อนำค่าดูดกลืนแสงที่ได้มาคำนวณสมการเส้นตรง R-Squared



รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานค่าดูดกลืนแสงของสารละลาย Brovine Serum Albumin (BSA)

(R^2) จากกราฟ พบว่ากราฟสมการเส้นตรงแสดงเส้นแนวโน้มของสมการ $y = 0.086x + 0.284$ และมีค่า R-squared (R^2) = 0.937 ดังแสดงในรูปที่ 1

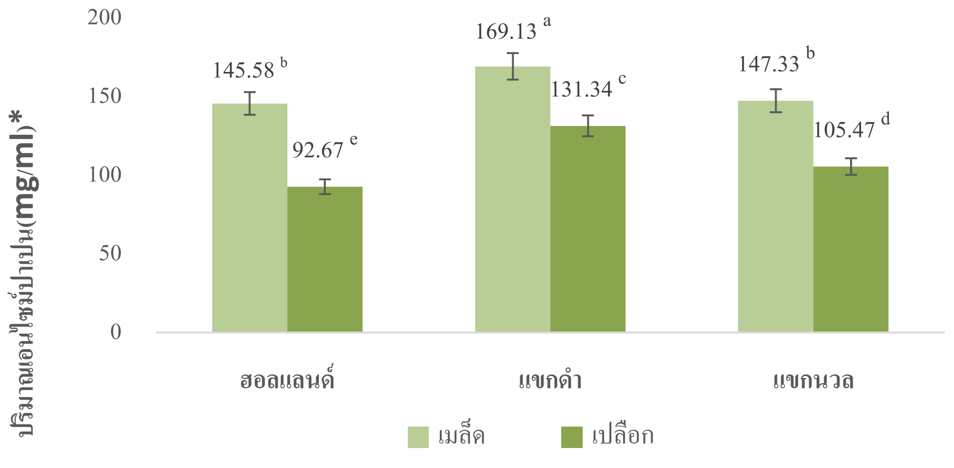
3.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนเหลือใช้ของมะละกอผลดิบแต่ละสายพันธุ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนเปลือกและเมล็ดของมะละกอพันธุ์แขกดำ พันธุ์ แขกนวล และพันธุ์ฮอลแลนด์ โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนกับสารละลายโปรตีนมาตรฐาน Brovine Serum Albumin (BSA) แทนค่าการดูดกลืนแสงในสมการ y แล้วคำนวณปริมาณโปรตีนเป็นสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าปริมาณโปรตีนหรือสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนในส่วนเมล็ดมะละกอมีปริมาณมากกว่าในส่วนของเปลือกมะละกอเนื่องจากเมล็ดของมะละกอมีส่วนของน้ำยางบรรจุอยู่ภายในเมล็ดมากกว่าเปลือก และในขั้นตอนการปอกเปลือกมะละกอทำให้น้ำยางหลุดออกไปบางส่วนส่งผลให้ปริมาณน้ำยางที่มีอยู่เหลือน้อยลงและทำให้ปริมาณเอนไซม์ที่สกัดได้น้อยตามไปด้วย โดยจากผลการทดลองดังกล่าว ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jain [7] และ Esti และคณะ[8] รายงานว่าเอนไซม์ปาเปนสามารถสกัดได้จากยางมะละกอในส่วนต่างๆ ของใบ ก้านใบ ลำต้น และผลดิบ โดยปริมาณของน้ำยางในมะละกอจะมีมากตามส่วนต่างๆ ของมะละกอ

ได้แก่ ใบ ก้านใบ ลำต้น และ ผลดิบ ส่วนจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของมะละกอ และสภาพพื้นที่ในการเพาะปลูก จากผลการทดลองปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนของมะละกอพันธุ์แขกดำมีปริมาณมากที่สุดทั้งในส่วนของเมล็ดและส่วนของเปลือก มีปริมาณเท่ากับ 169.13 และ 131.34 mg/ml ตามด้วยพันธุ์แขกนวล 147.33 และ 105.47 mg/ml และพันธุ์ฮอลแลนด์ 145.58 และ 92.67 mg/ml ตามลำดับ โดยปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเหลือใช้ของมะละกอดิบในส่วนเมล็ดมีมากกว่าในส่วนเปลือก ซึ่งปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากมะละกอทั้ง 3 พันธุ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องมาจากเอนไซม์ปาเปนเกิดการทำปฏิกิริยากับเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและโปรตีนในกล้ามเนื้อทำให้เนื้อเกิดความนุ่มขึ้น ซึ่งได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Erdmann และคณะ [9] รายงานว่าเอนไซม์ปาเปนสามารถย่อยสลายโปรตีนในเนื้อสัตว์แล้วทำให้เนื้อสัตว์มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้น

3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากในส่วนเปลือกและเมล็ดของมะละกอดิบแต่ละสายพันธุ์

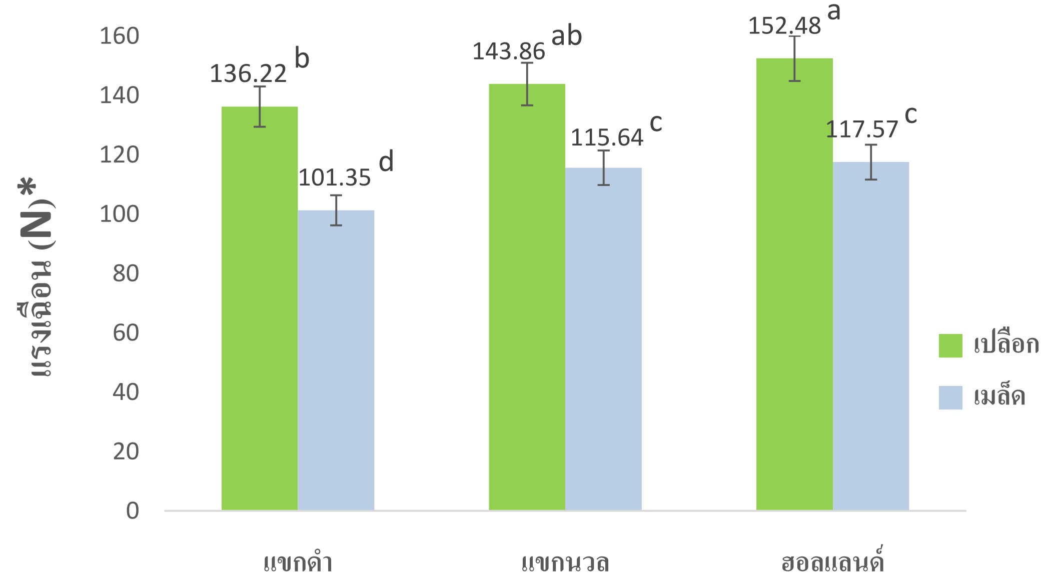
จากการนำสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเปลือกและเมล็ดของมะละกอผลดิบทั้ง 3 พันธุ์ มาใช้หมักเนื้อวัวเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีนด้วยการวัดเนื้อสัมผัสในเนื้อวัวที่ผ่านการลวกแล้วจากการวัดแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าเนื้อวัวที่ผ่านหมักกับสารสกัดหยาบจากเปลือกและเมล็ดมะละกอมีค่าเฉลี่ยแรงเฉือนมากที่สุดคือพันธุ์ฮอลแลนด์ รองลงมาคือพันธุ์แขกนวล และพันธุ์แขกดำ มีค่าเฉลี่ยแรงเฉือนเท่ากับ 152.48 N, 117.57 N, 143.86 N, 115.64 N, 152.48 N และ 117.57 N ตามลำดับ โดยเอนไซม์ปาเปนจะทำให้สายโพลิเปปไทด์สั้นลง ส่งผลให้เนื้อสัตว์มีความนุ่มเมื่อได้รับความร้อน และการทำงานของเอนไซม์ในการเกิดปฏิกิริยาสิ้นสุดลง [10] มีความเสถียรอยู่ที่อุณหภูมิช่วง 30 - 40 องศาเซลเซียส และเกิดการสูญเสียกิจกรรมต่างๆ ต่ำกว่าร้อยละ 50 เมื่อความเป็นกรดด่าง (pH) น้อยกว่า 5 หรือ มากกว่า 10



รูปที่ 2 ปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนเปลือกและเมล็ดมะละกอผลดิบแต่ละสายพันธุ์

หมายเหตุ : [a,b,c] หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ซึ่งสภาวะที่มีผลต่อความเสถียรของเอนไซม์ปาเปนขึ้นอยู่กับความเป็นกรดด่าง โดยส่วนใหญ่แล้วเอนไซม์ปาเปนมีความเสถียรมากในสภาวะที่เป็นกลาง [11] จากการทดลองมีการหมักเนื้อวัวสันนอกที่อุณหภูมิห้องและอยู่ในสภาวะเป็นกลางจึงทำให้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนมีประสิทธิภาพมาก แสดงให้เห็นว่าที่ค่าเฉลี่ยแรงเฉือนต่ำเนื้อวัวสันนอกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มมากกว่าค่าเฉลี่ยแรงเฉือนสูงเนื่องจากสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนทำงานได้เต็มที่และสามารถย่อยสลายโปรตีนได้ดี โดยในสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วน



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากการวัดแรงเฉือน (Shear force)

หมายเหตุ : a,b,c หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ของเมล็ดมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนมากกว่าจากส่วนของเปลือกมะละกอผลดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ เมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิและสภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์จึงสามารถย่อยสลายโปรตีนได้เป็นอย่างดี โดยสารสกัดหยาบจากเมล็ดและเปลือกมะละกอผลดิบพันธุ์แขกดำมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนได้มากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์แขกนวลและพันธุ์ฮอลแลนด์

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้สกัดสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนที่เหลือใช้ของมะละกอผลดิบ 3 พันธุ์ คือพันธุ์ฮอลแลนด์ พันธุ์แขกดำ และพันธุ์แขกนวล จากส่วนของเปลือกและเมล็ดมะละกอ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่ได้จากส่วนเปลือกมีลักษณะเป็นสารละลายใส มีสีเขียวอ่อน ส่วนสารสกัดหยาบที่สกัดได้จากเมล็ดเป็นสารละลายสีขาวใส

ปริมาณของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนของเมล็ดมะละกอผลดิบแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณมากกว่าและมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนได้ดีกว่าสารสกัดหยาบที่สกัดได้จากส่วนของเปลือกมะละกอทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยมะละกอพันธุ์แขกดำมีปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนและมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายโปรตีนมากที่สุด รองลงมาคือพันธุ์แขกนวล และพันธุ์ฮอลแลนด์ ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิห้องและสภาวะความเป็นกลางของกรดด่าง ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่สกัดได้จากส่วนเหลือใช้ของมะละกอที่สกัดได้จากธรรมชาติ มีความปลอดภัย อีกทั้งมีขั้นตอนการสกัดที่ทำได้ง่าย รวดเร็ว และใช้ต้นทุนในการสกัดต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ได้ในการปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องดื่ม และอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] L. You, M. Zhao, R.H. Liu and J.M. Regenstein, "Antioxidant and antiproliferative activities of loach (Misgurnus anguillicaudatus) peptides prepared by papain digestion," *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* vol. 14, pp. 7948-7953, 2010.

[2] K. Konno, C. Hirayama, M. Nakamura, K. Tateshi, Y. Tamura, M. Hattori and K. Kohno, "Papain protects papaya trees from herbivorous insects: role of cysteine proteases in latex," *The Plant Journal*, vol. 37, pp. 370-378, 2004.

[3] S. Arpossorn and N. Kanjanaporn, "Proteolytic activity of crude extract from different parts of pineapple and papaya," *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol. 48 suppl, pp. 1087-1092, 2020. (in Thai)

[4] S. Ketnawa, P. Chaiwut and S. Rawdkuen, "Pineapple wastes: A potential source for bromelain extraction.," *Food Bioprod. Process*, vol. 90, pp. 385-391, 2012.

[5] A. Ninfa, D. Ballou and M. Benore, Fundamental Laboratory Approaches for Biochemistry and Biotechnology, John Wiley & Sons Inc, 2010.

[6] N. Rattanapnont, Food Chemistry, Odeonstow Publishing, Bangkok, 2010. (in Thai)

[7] J. Jain, "Review on isolation and purification of papain enzyme from papaya fruit," *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology,* vol. 5, pp. 193–197, 2020.

[8] M. Esti, I. Benucci, C. Lombardelli, K. Liburdi, A. Maria and V. Garzillo, "Papain from papaya (Carica papaya L.) fruit and latex: Preliminary characterization in alcoholic-acidic buffer for wine application," *Journal of Food Bioprod Process*, vol. 91, pp. 595-598, 2013.

[9] K. Erdmann, W.Y. Cheung and H. Schroder, "The possible roles of food derived bioactive peptides in reducing the risk of cardiovascular diseases," *Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 19, pp. 643–654, 2008.

[10] Z. Liya, W. Cui, J. Yanjun and G. Jing, "Immobilization of Papain in Biosilica Matrix and Its Catalytic Prpperty," *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 21, pp. 670-675, 2013.

[11] W. Wang,Z. Li, J. Liu, Y. Wang, S. Liu and M. Sun, "Comparison between thermal hydrolysis and enzymatic proteolysis processes for the preparation of Tilapia skin collagen hydrolysates," *Czech Journal of Food Science*, vol. 31, pp. 1-4, 2013.

ประวัติผู้ประพันธ์ :

ดวงทิพย์ ไข่แก้ว
ปัจจุบันทำงานสาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ดวงฤทัย ธำรงโชติ
ปัจจุบันทำงานสาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

วิภาวัน จุลยา
ปัจจุบันทำงานสาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Performance Analysis of a Small-Scale Photovoltaic Water Pumping System

Montana Rungsiyopas[1] and Chokchai Chuenwattanapraniti[2*]
[1] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University Chonburi 20131, Thailand
[2] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University Chonburi 20131, Thailand
*Corresponding author: chokchai@eng.buu.ac.th

Received : 28 March 2022 / Revised 1st: 24 May 2022 / Revised 2nd : 27 May 2022 / Accepted : 28 May 2022

Abstract The performance of a photovoltaic (PV) pumping system depends on several factors such as the pump head, PV array size, and solar radiation. This research aims to investigate and analyze the performance of a small PV pumping system driven by an AC motor under various system configurations and solar irradiance. The 1.1 kW motor coupled to the surface pump was then formulated in the laboratory and the test results were carried out under different testing conditions. The polynomial regression was applied to the test data providing the empirical model relating the water flow rate and head for each solar irradiance. In the estimation of daily water delivery, some examples of solar irradiance profiles were entered into the model. In addition, performance analysis was performed which enables the selection of proper system configulation to fulfill the daily water demand while achieving high system efficiency.

Keywords: PV pumping system, Solar irradiance, Surface pump, Pump performance.

1. Introduction

Nowadays, PV modules are widely used as a power source for several applications but one most benefit in use is the water pumping system especially in remote area. In developing countries, the water supplied for irrigation, agriculture and cattle are important and worth especially in rural areas lacking of utility electric grid. Therefore, the photovoltaic pumping system is an attractive choice in such area [1-2]. The simple PV pumping system may consist of PV array directly connected to DC motor pump. However, most of the latest technologies include the pump controller for performance improvement purpose. In potable water supply needs the positive displacement pump in order to overcome the high head loss while in irrigation and

agriculture use centrifugal pump to cover the massive flow rate.

In the past research, many researchers [3-6] studied the performance of a pumping system that connects the PV array directly coupled to DC motor-pump without batteries. They [3-5] developed the model consisted of two mathematic functions: the I-V characteristic for both PV array and DC motor-pump, Q-V characteristic for motor-pump. These models predict the flow rate at any solar irradiance and water head. The effect on pumping head on solar pumping system using the optimum PV array was also investigated [7]. There is also a development of sizing chart for a low cost positive displacement pump driven by DC motor based on field testing data [8].

For a constant input power and at low head up to 20 m, centrifugal pumps produce the greater water pumped per day than positive displacement pumps [9]. Therefore, the centrifugal type was widely used as surface pump for water lifting from shallow wells such as agricultural water pumping system and irrigation water supply application. Generally, most of centrifugal pumps are driven by AC motors which have more reliable and lower maintenance cost than DC type [10]. The main drawback of DC motors is that they require a frequent brush replacement consequently increasing running cost [11, 12]. Furthermore, in developing countries, the motor-pump rating over 1 kW which can generally be purchased is the AC type. In case of AC motor, a VFD (or solar pump inverter) needs to be placed between PV array and motor for the energy conversion purpose. Most of VFDs [13, 14] traditionally operate on V/F principle which maintains constant air-gap flux density so that maximize the torque per ampere. For the past several years, many researchers concerned in improving control strategies to enhance the pumping performance [15, 16]. Anyway, the system performance can also be upgraded by an optimized array size matching to the insolation and pumping head [17]. Considering only each component's characteristics to estimate water delivery is not accurate because system yields depend on the system's operating conditions, such as solar radiation, array size, pumping head, and the system efficiency [18]. Consequently, this paper focuses on the performance analysis of a small PV pumping system employing the experimental data to indicate the optimum system satisfying both water delivery requirements and system efficiency.

2. Pumping Test Rig and Setting of Experiment

The PV pumping system was designed to simulate the real operating condition. The data acquisition system was also installed to collect the flow rate, solar insolation, differential pressure, voltage, current, and power. The layout and photographs of simulated PV

pumping and data acquisition system is shown in Fig. 1 and Fig. 2.

2.1 Photovoltaic water pumping system

The photovoltaic water pumping test facility consists of a centrifugal pump, an AC motor, an inverter, and photovoltaic array. The technical specifications of all major components are shown in Table 1.

The PV array was tilted 13 degrees, which is the latitude of Burapha University, and faced to the south as shown in Fig. 3. The 1.1 kW motor-driven centrifugal pump was used in research and it can provide the flow rate which range between 10-450 l/min. The 1.15 kW solar pump inverter was selected to match the motor's rated current and power. The inverter can function either as the normal VSD or the solar pump controller. In the latter, the PV array must be directly connected to the DC bus terminal of inverter.

Table 1 Technical Specifications Summary of the Photovoltaic Water Pumping System

Pump	Type	centrifugal pump
	Model	Venz VC150
	Head(max/min)	28 m/5 m
	Design flow rate	10–450 l/min
	Maximum pressure	6 bars
	Input/output port	2-inch/2-inch
	Materials	Cast iron body, Brass impeller
Motor	Type	Three-phase induction motor
	Model	Venz VC150
	Rated voltage	220–240V (Δ)
	Rated current	4.4 A
	Rated power	1.5HP/1.1 kW
	Frequency	50 Hz
	Maximum speed	3000 rpm
Inverter	Type	Solar pump inverter
	Model	ABB ACS-355 01E-07A5-2+N827
	Input voltage	150-400VDC
	Rated input current	17 A
	Rated output voltage	V/F control
	Rated output current	7.5 A
	Rated output power	1.15 kW
	Output frequency	0 to 599 Hz
PV	Type	Polycrystalline silicon
	Model	SUNTECH STP290-24Ve
	Maximum power	290 W_p
	Module efficiency	14.9%
	V_{mpp}	35.6 V
	I_{mpp}	8.15 A
	V_{oc}	45.0 V
	I_{sc}	8.42 A
	Dimensions	1956mm× 992mm×40mm

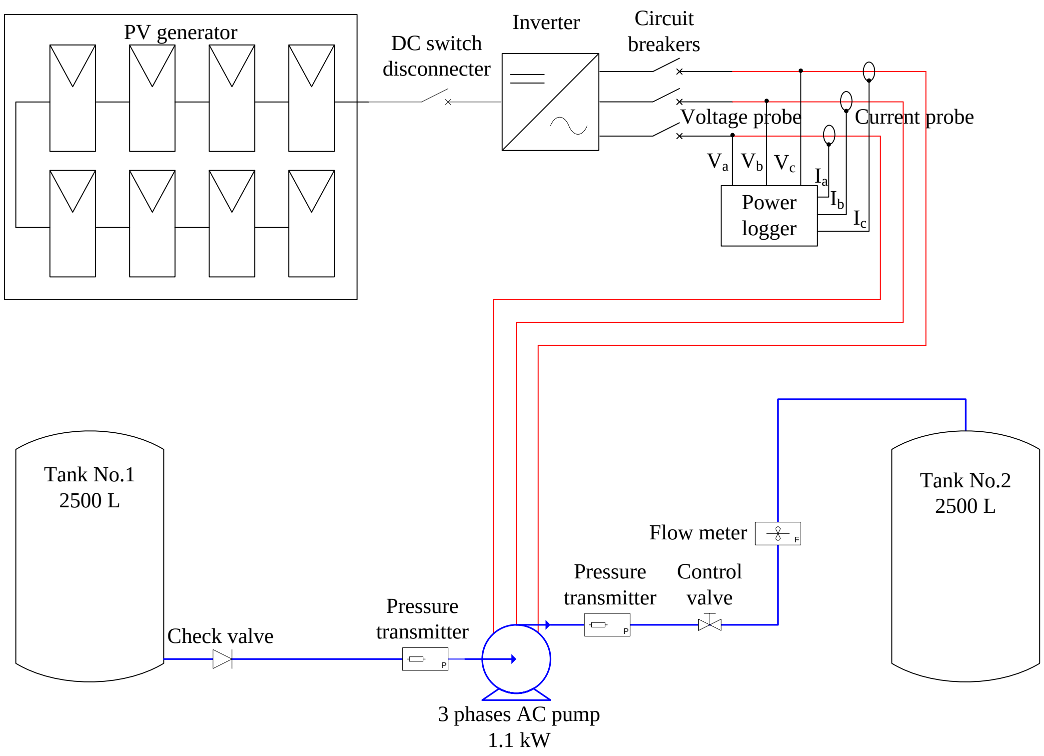


Fig.1. Schematic diagram of the PV water pumping system and data acquisition system

Fig.2. Water pumping system at the ground floor

2.2 Measuring equipment and devices

2.2.1 Magnetic flow meter

A Yokogawa magnetic flow meter model AXF040G was used for volumetric flow measurement. The operation of this type of flow meter is based on Faraday's law so that it doesn't have any moving parts. This device is commonly ideal for applications where low pressure drop and low maintenance are required. The output signal is 4 – 20 mA. The measurable flow rate range is 0 – 45.23 m^3/h with nominal accuracy ±0.35% of rate. However, the minimum readable flow rate is limited about 10% of maximum predefined flow.

2.2.2 Pressure transducer

Two Trafag type 8472.26.5717 pressure transducers with accuracy ±0.5% were applied to measure the pressure drop across the control valve which is manually adjusted to simulate variable water head. The output signal is 4 – 20 mA, corresponding to pressure 0 bar to 4 bars. The pressure drop was converted into friction head and then summed it up with static head in order to evaluate the total head.

2.2.3 Pyranometer

Kipp and Zonen SP-Lite pyranometer with sensitivity of 8.2 $\mu V/W.m^{-2}$ was mounted in the same angle as PV panels to monitor global tilted solar irradiance, also called Plane of Array (POA) irradiance.

2.2.4 Power analyzer

PV voltage, current, and power on DC side of inverter were collected by a Yokogawa power analyzer model WT310 while voltage, current, power, and power factor at the motor-pump terminal were gathered by a Metrel power analyzer model MI-2892 which enables for measurement invariable speed drive application.

2.2.5 Thermocouple

Two thermocouples of type K were used to measure ambient air temperature and water temperature in the tank.

2.2.6 Data logger

All instantaneous measured signals: volume flow rate, pressure drop, solar irradiance, and temperature were recorded by a data logger Yokogawa model GP10.

Fig.3. Photovoltaic array at the rooftop of building

2.3 Operation principle and set-up the solar pump inverter

The main task of solar pump inverter is to convert the DC power from PV array to AC power for driving motor pump unit. With the latest technology, it will normally accompany with maximum power point tracking (MPPT) algorithm in order to extract maximum power from the PV array at any conditions. This is achieved by the well-known "Constant V/F (flux)" control. The output frequency of inverter is varied depending on the solar irradiance level until the maximum power point operation is reached. However, to maintain air-gap flux density affecting the torque performance of induction motor, the voltage magnitude must be changed in such a way that V/F ratio are maintained as shown in Fig. 4.

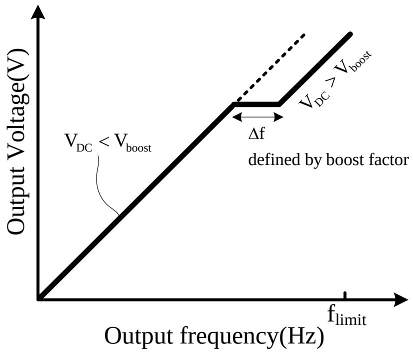


Fig.4. V/F pattern

Table2 Parameters for inverter setting

Parameter	Set-up value
Control mode	V/F (Pump control)
Start/Stop input	Auto
Start DC voltage	150 V
Maximum PV voltage	380 V
Pump maximum speed	3000 rpm
Boost voltage	at nominal V_{mpp}= 35.6V/Module
Boost factor	1.0(disable)/1.05/1.1
Motor parameter	Nominal voltage 220 V Nominal power 1.1 kW Nominal current 4.4 A Nominal speed 2950 rpm

Table 2 shows the important parameters concerned in inverter setting. The inverter was set in "Auto Mode" so it does not need any manual start/ stop input. It starts automatically when DC input voltage is more than the "Start DC voltage". To prevent the motor from stalling, the starting DC voltage was defined at 150 V.

The "Boost Factor" enables increasing the pump speed by increasing inverter output frequency when the actual PV voltage is greater than the "Boost Voltage". In case of small number of PV module in series (low DC bus voltage), the maximum power operating point will not achieve due to the limitation of constant V/F rule. "Boost Factor" allows the inverter output frequency to be increased by a predefined boost factor even if the output frequency does not agree to constant V/F. In the experiments, the "Boost Factor" was set to 1.0 (disable), 1.05 and 1.1 respectively while the "Boost Voltage" was set at nominal voltage at maximum power point (Vmpp) of PV array.

3. METHODOLOGY

Generally, the PV pumping performance depends on two main parameters; solar irradiance and water head. It is necessary to develop a system model that will be employed to predict the flow rate for any solar irradiance and head. The modelling procedure will be described as follow.

Firstly, at a constant solar irradiance, the instantaneous flow rate (Q) for differently simulated head (H) was collected. For the 2.32 kWp array (8 modules in series) which is around two times pump's rated power, the measured flow rate were plotted versus head and their fitting curves were also illustrated in Fig. 5. The maximum flow rate was approximately 300 l/min which was obtained at 3 m head and 1000 W/m^2 solar irradiance. At this condition, the motor input current and power were nearly its nominal value. Therefore, the boost factor was disable in this case.

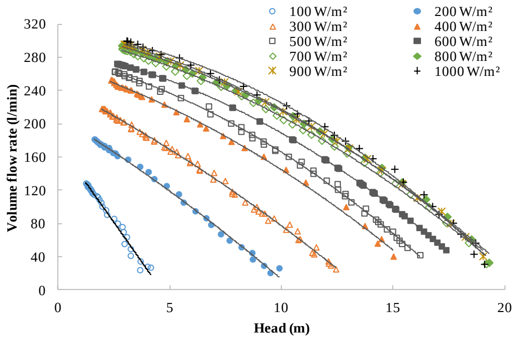


Fig.5. Flow rate vs. Head characteristics at various solar irradiance for 2.32 kW$_p$ array power (without boost factor)

The performance evaluation for 6 modules in series which provides 1.5:1 ratio between array and pump power was also investigated and the result was shown in Figure 6. For this PV configuration, the maximum water flow rate was around 200 l/min while the power measured at motor terminal was 450 W and the DC voltage at PV terminal was 224 V. From the PV module's specification shown in Table 2, the voltage at maximum power point (V_{mpp}) is 35.6 V per modules which will be 213 V for array consisted of 6 modules. The higher operating voltage than V_{mpp} indicates that the PV array operates on the right side of array maximum-power-point. In order to shift the operating point to maximum-power-point, the boost factor was introduced at two predefined values 1.05 and 1.1 respectively. The effect of boost factor in pumping performance enhancement is obviously seen in Figs. 7 and 8. The Q-H curves were raised up especially for high irradiance and it can be observed 5-10% increasing in water flow rate.

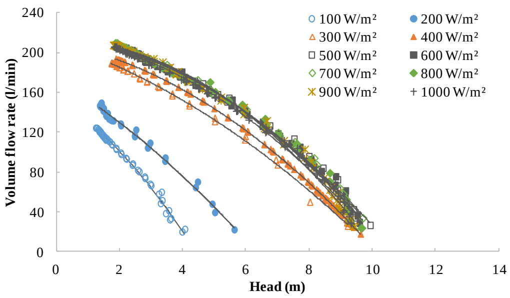


Fig.6. Flow rate vs. Head characteristics at various solar irradiance for 1.74 kW$_p$ array power (without boost factor)

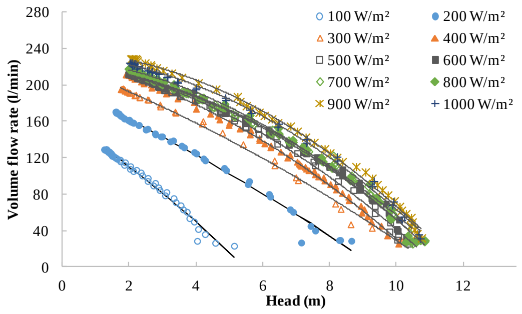


Fig.7. Flow rate vs. Head characteristics at various solar irradiance for 1.74 kW_p array power (With 1.05 Boost Factor)

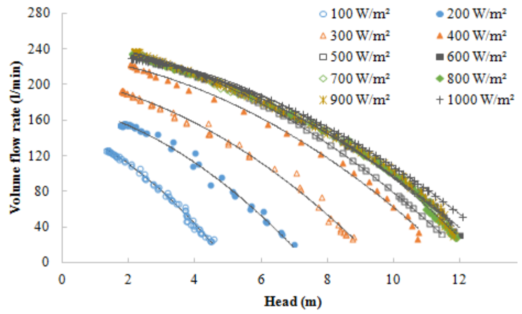


Fig.8. Flow rate vs. Head characteristics at various solar irradiance for 1.74 kW_p array power (With 1.1 Boost Factor)

The next step is to develop a function relating the flow versus head from collected data. For each constant irradiance curve shown in Figs. 5 – 8, the second-order polynomial described the flow rate to head are defined as

$$Q(H)\Big|_{G=const.} = a + bH + cH^2 \qquad (1)$$

Each corresponding coefficient of regressions (a, b, c) as defined in Eq. (1) can be determined by polynomial regression. The dot markers shown in Figs. 9 – 12 deal with the coefficients a, b and c related to each solar irradiance (G) for different array configurations.

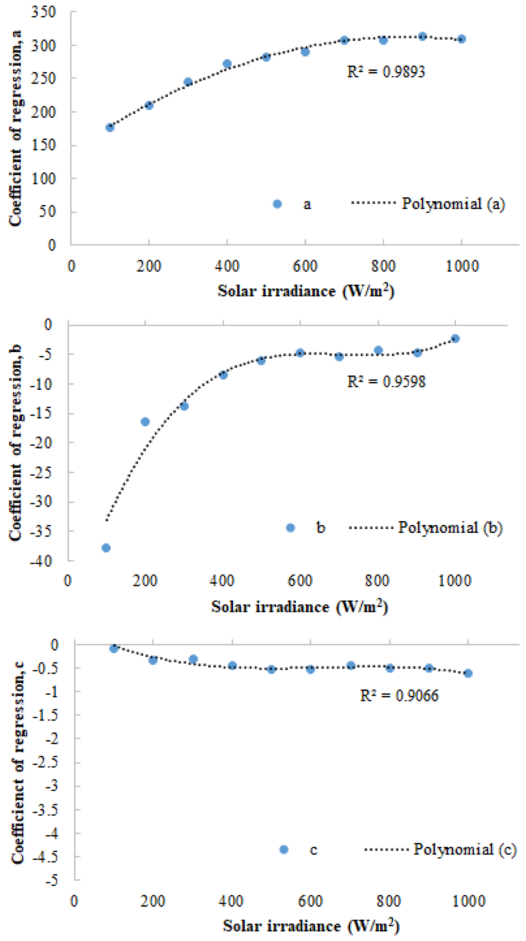


Fig.9. The relation between coefficient of regressions a, b, c and solar irradiance (G) for 2.32 kW_p array power (without Boost Factor)

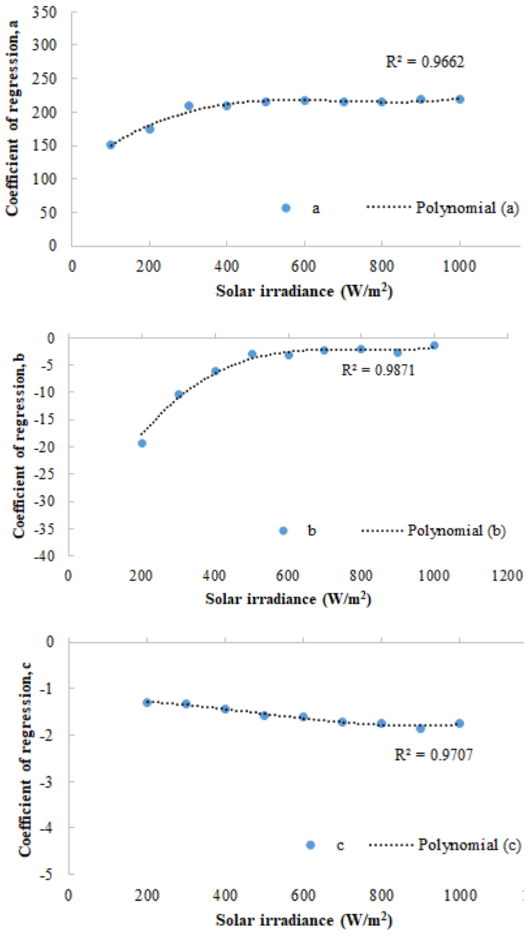


Fig.10. The relation between coefficient of regressions a, b, c and solar irradiance (G) for 1.74 kW_p array power (without Boost Factor)

Likewise, the regression analysis was applied in order to find the relation between coefficients and irradiance. However, in this case, the third-order polynomial was taken to increase the accuracy of the models that have the general form as described by Eq. (2).

$$\begin{aligned} a(G) &= d + eG + fG^2 + hG^3 \\ b(G) &= i + jG + kG^2 + lG^3 \\ c(G) &= m + nG + oG^2 + pG^3 \end{aligned} \qquad (2)$$

The R^2 indicated in Figs. 9-12 show that most of regression lines were properly fit the data points. Then, substitution of Eq. (2) into Eq. (1) provides the flow rate as a function of water head and irradiance,

$$\begin{aligned} Q(h,G) = {} & (m + nG + oG^2 + pG^3)h^2 \\ & + (i + jG + kG^2 + lG^3)h \\ & + (d + eG + fG^2 + hG^3) \end{aligned} \qquad (3)$$

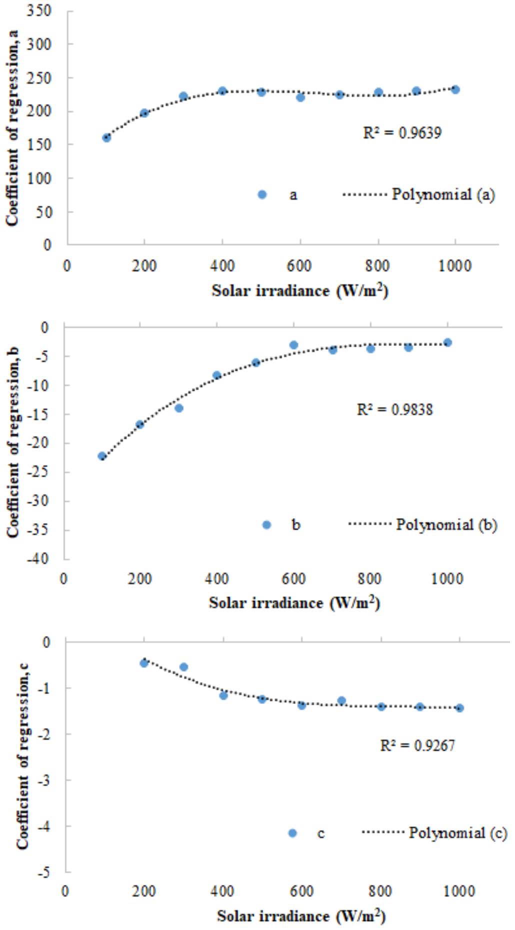


Fig.11. The relation between coefficient of regressions a, b, c and solar irradiance (G) for 1.74 kW_p array power (with 1.05 boost factor)

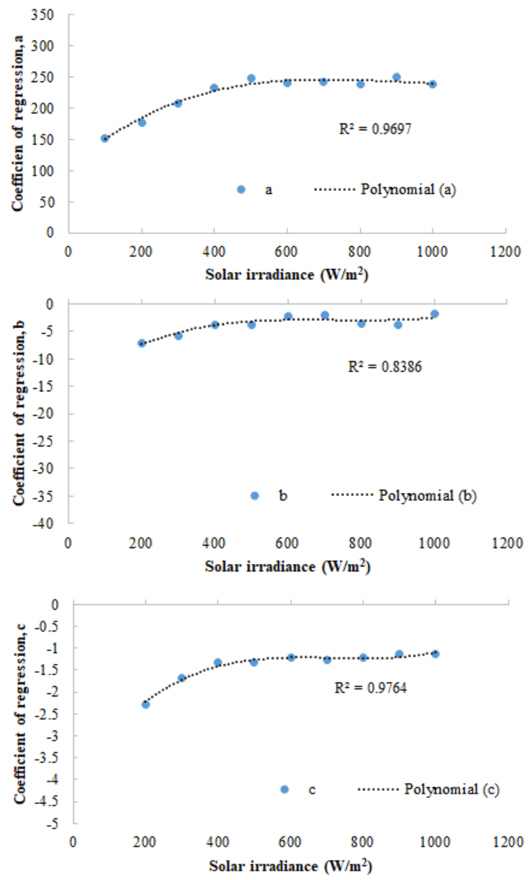


Fig.12. The relation between coefficient of regressions a, b, c and solar irradiance (G) for 1.74 kW_p array power (with 1.1 boost factor)

4. Results and Discussion

4.1 Instantaneous flow rate

In order to estimate the daily water delivery, the proposed model described by Eq. (3) was used together with the daily irradiance profile to determine the instantaneous flow rate. As illustrated in Fig. 13, at any predefined head, the model provides a predicted flow rate as its output. Then, the instantaneous flow rate will be accumulated to determine the daily water delivery.

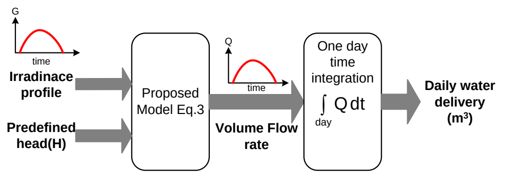


Fig.13. Estimation of daily water delivery based on proposed model

The PV pumping system was simulated by various irradiance profiles collected from pyranometer installed at Faculty of Engineering, Burapha University, Thailand. Furthermore, in the simulations, there are 3 different levels of water head. The 2-m of head represents the low head application while 5 m and 10 m represent moderate and high head respectively. However, it should be noted that the cut-in and cut-off irradiance are predefined at 50 W/m^2 in all cases.

Fig. 14 shows the result of instantaneous volume flow rate for 2.32 kW_p array configuration obtained from the day in which the daily solar irradiance was 6.75 Peak Sun Hour (PSH). The water delivery curve is approximately flat profile throughout the day due to the oversizing of PV generation. The flow rate drop as a result of shadow cloud can be observed between 8:00 and 9:00 AM. The total water deliveries for this day were 165,

137 and 99 m^3/day for 2 m, 5 m and 10 m of head respectively.

The other example of irradiance profile was used in simulation and their results are illustrated in Fig. 15. This irradiance profile was collected in a rainy day that provides only 2 PSH daily irradiance. It can be seen that the instantaneous volume flow rate fluctuate for whole day as a result of significant irradiance swing. The total water delivery were 94, 56 and 17 m^3/day for 2 m, 5 m and 10 m of head respectively.

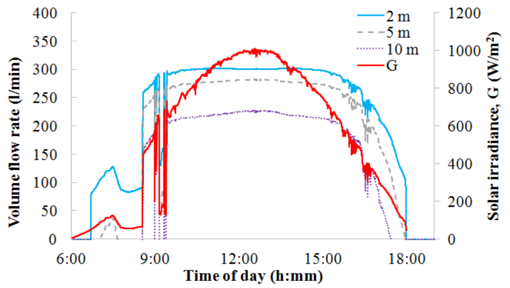


Fig.14. Volume flow rate and solar irradiance for 6.75 PSH in case of 2.32 kW_p array power (without boost factor)

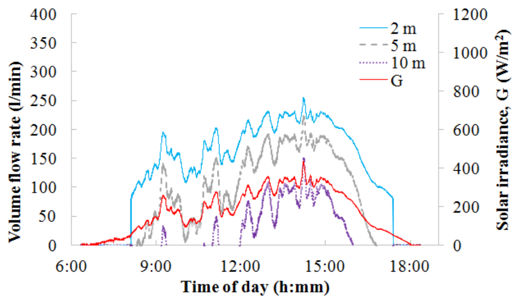


Fig.15. Volume flow rate and solar irradiance for 2.02 PSH in case of 2.32 kW_p array power (without boost factor)

The model validation can be performed by comparing point by point between the simulation and the test results. For example, as seen in Fig. 14, at 5 m of pumping head and 1000 W/m^2 solar irradiance, the instantaneous flow rate predicted by model is 282 l/min while the test result (Fig. 5) indicates 280 l/min. In this condition, the error between model and test result is found to be less than 1%. This error trends to increase as irradiance decrease. The maximum error can be found less than 2% especially in low irradiance condition (<200 W/m^2). Therefore, the proposed model can be used to estimate the instantaneous water flow with insignificant error.

4.2 System efficiency

The capital costs of PV pumping systems depend mainly on PV array costs. The PV array including mounting is accounted for around 60-70% of total system costs. In economic point of view, the proper sizing of PV array installed in pumping system should be taken care. In many cases, oversized PV array will be ineffective to the pumping yield since the pump is operated far away from the best efficiency point (BEP). The typical head-flow characteristics of pump coupled to variable speed drive are exemplified in Fig. 16. For each pump speed, the BEP line intersects the pump performance curve at the different heads.

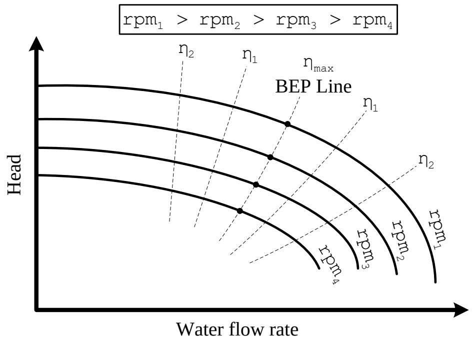


Fig.16. Typical centrifugal pump performance curves

The system efficiency were experimentally estimated at different solar irradiances and 2, 5 and 10 m of head when the pumping system was supplied from 2.32 kW$_P$ PV array as demonstrated in Fig. 17 (dash line). The system efficiency is calculated by

$$\eta_{sys} = \frac{P_{hyd}}{GA} = \frac{\rho g h Q}{GA} \quad (4)$$

where P_{hyd} is hydraulic power from pump (W), A is PV array area (m^2), G is solar irradiance (W/m^2), ρ is water density (kg/m^3), and g is gravity acceleration (m/s^2).

At low solar irradiance, low and medium head provide better system efficiency than high head. As irradiance exceeds 400 W/m^2, higher head provides higher system efficiency since each component operates near its best efficiency point. However, it can be observed that the system efficiency tends to gradually decrease according to the increasing of solar irradiance for all water heads. This reduction is due to the decreasing of PV and motor-pump efficiency as shown in Fig. 17 and Fig. 18 respectively.

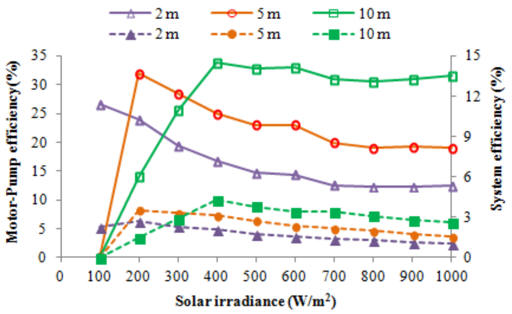


Fig.17. System efficiency for different solar irradiances at 3 different heads (2.32 kW$_P$ PV array)

The motor-pump efficiency is given by

$$\eta_{motor-pump} = \frac{P_{hyd}}{P_{inv}} \quad (5)$$

where P_{inv} is inverter output power (W).

The PV array efficiency is given by

$$\eta_{pv} = \frac{P_{pv}}{GA} \quad (6)$$

where P_{pv} is output power from PV array (W).

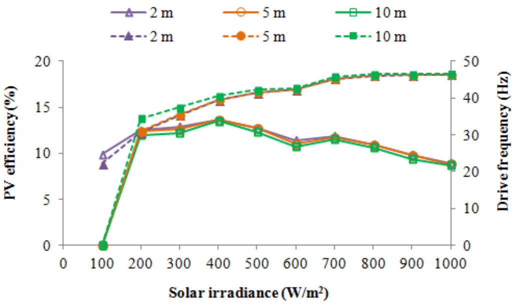


Fig.18. PV efficiency and drive frequency for different solar irradiances at 3 different heads (2.32 kW$_P$ PV array)

Fig. 18 illustrates the effect of solar irradiance on the drive frequency to which directly relates the pump speed. As expected, the increasing of solar radiation results in higher motor speed. Referring to Fig. 16, the change in motor speed causes the motor pump efficiency deviate to another value which can either be lower or higher than the one of the previous speed. Therefore, if the pump is operating at best efficiency point (BEP), further increasing in drive frequency (or pump speed) will reduce the pump efficiency. The experimental results depicted in Fig. 17 show that for each water head the BEP of pump was found at different irradiance. At 2 m head, the BEP occurs at 100 W/m^2 which corresponds to 22 Hz of drive frequency while the BEP are shifted to the higher irradiance for higher head (5 m and 10 m). For all head, the drive frequencies are nearly constant when the irradiance exceeds 700 W/m^2. This is due to limitation of drive frequency which strictly follows the V/F algorithm. Since the voltage at maximum power point of 2.32 kW$_p$ PV array is around 280 V, the drive frequency was then limited around 45 Hz.

The PV efficiency also affects to the system efficiency. Fig. 18 shows that the PV efficiency slightly decreases for irradiance higher than 400 W/m^2. The reduction of PV efficiency is due to the increasing of PV cell temperature and the limitation of drive frequency as described previously.

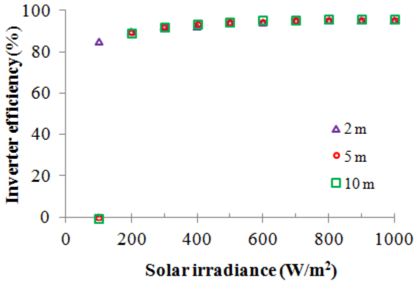


Fig.19. Inverter efficiency for different solar irradiances at 3 different heads (2.32 kWp PV array)

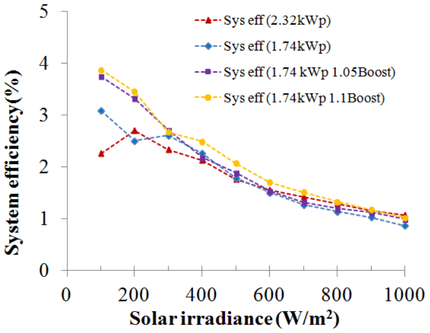


Fig.20. System efficiency for 4 different PV array configurations (2 m head)

The efficiency of an inverter indicates how much the DC power from array is converted to AC power supplied to motor. Therefore it relates only to the electric energy conversion. The inverter efficiency obtained from the test system is illustrated in Fig. 19. It can be observed that the inverter efficiency is almost constant at 95% for any heads while slightly increases due to higher power processing. For this reason, the effect of inverter efficiency on overall system efficiency can be neglected.

The system efficiencies for different PV array sizes are also considered. For a specific head, the different PV array sizes provide different

system efficiencies. Fig. 20 shows the comparison of system efficiency between PV pumping system supplied from 2.32 kW_p (8 PV modules) and 1.73 kW_p (6 PV modules) for 2 m head. At high irradiance, both array sizes provide almost the same system efficiency but it can be clearly seen the different of system efficiency for irradiance below 400 W/m^2. However, it is unable to decide which configuration exhibits higher system efficiency, and thus the average system efficiency $\bar{\eta}_{sys}$ which defined in Eq. (7) is proposed as an index.

$$\bar{\eta}_{sys} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \eta_{sys,i} G_i}{\sum_{i=1}^{10} G_i} \qquad (7)$$

where $G_k = 100i \ W/m^2$ and $\eta_{sys,k} = \eta_{sys@G_k}$

Table 3 summarizes the average system efficiency for three heads and two PV array sizes. At low head, the same system efficiency are obtained for both array sizes but introducing of boost factor in case of smaller array size will improve the average system efficiency so that it provides higher efficiency than the larger array. For this reason, the smaller array size was an attractive choice in low head application since it provides higher efficiency, comparative daily water delivery, and lower cost.

Table 3 Average system efficiency of PV pumping system for 3 different heads and 2 array sizes

Head (m)	PV array size			
	2.32 kW_p	**1.73 kW_p**	**1.73 kW_p (1.05 Boost)**	**1.73 kW_p (1.1 Boost)**
2	1.50%	1.43 %	1.54 %	1.65 %
5	2.21 %	1.78 %	2.08 %	2.23 %
10	3.06 %	-	0.93 %	1.84 %

For moderate head, the pumping system supplied from 2.32 kW_p array operates as efficient as the 1.73 kW_p array with 1.1 boost factor. Due to the equality of system efficiency, it can be concluded that the daily water delivery will directly proportional to the PV array size. For high head, the larger PV array provides higher average system efficiency. The insufficient PV array will result in the extreme reduction of system efficiency as stated in [19].

4.3 Daily Water Delivery

The bar graphs shown in Figs. 21 – 24 present the daily water delivery for various system configurations. Figs. 21 and 22 illustrate the daily yield of pumped water for different PV array sizes without boost function. As expected, the daily water delivery gained from lower PV array power is less than the higher one. For 2 m head the smaller array size exhibit the same efficiency as the larger array so that their pumping yield per kW_p of array are identical. However, this pumping yield per kW_p can be enhanced by the boost factor. For 5 PSH, increase the PV array size from 1.74 kW_p to 2.32 kW_p will result in increasing of water delivery around 15%.

Table 4 summarizes the daily water pump for various conditions. At 5

m head and 2.32 kW_p array (which is 2:1 ratio between PV array and motor-pump power), the pumping system can produce daily water delivery 50-60% extra than the 1.74 kW_p array (ratio of 1.5:1).

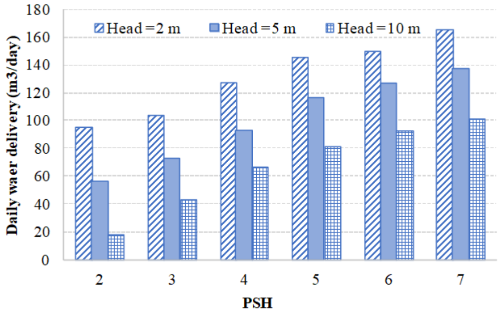


Fig.21. Daily simulated water delivery (2.32 kW_p array, without boost factor)

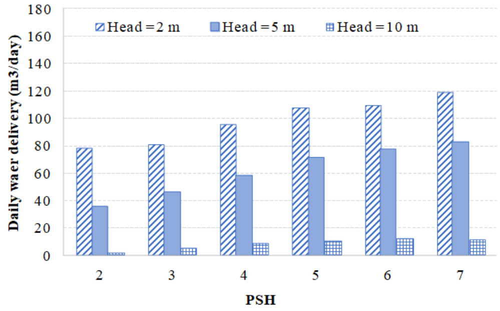


Fig.22. Daily simulated water delivery (1.74 kW_p array, without boost factor)

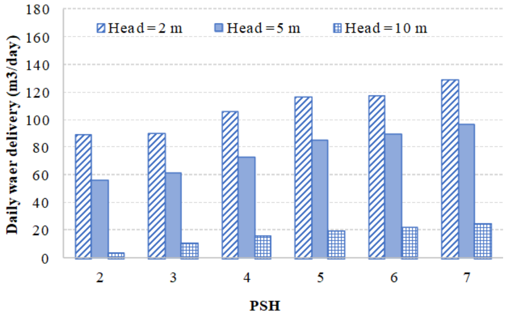


Fig.23 Daily simulated water delivery (1.74 kW_p array, with 1.05 boost factor)

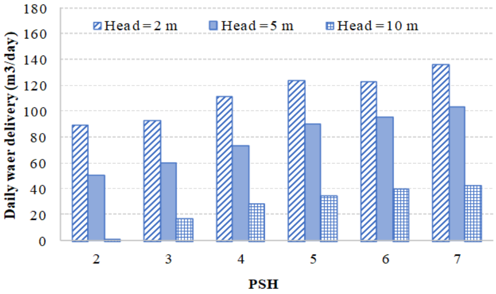


Fig.24 Daily simulated water delivery (1.74 kW_p array, with 1.1 boost factor)

It can obviously be seen from Table 4 that for high head application (10 m), the PV nominal power required for sufficient water delivered should be two times the motor-pump power. Hence, to configure the PV pumping system, the designer should optimize the sizing ratio depending on the required water delivery and water head. For example, in case of Thailand (Latitude 15.8700° N and Longitude 100.9925° E), the average peak sun hour is around 5 [20, 21] therefore for 5 m pumping head, the proper PV array power to meet the 100 m^3 of water consumption per day should be 2.32 kW_p which is twice the pump power. In case of cost sensitive, the small array size can be used with an introducing of boost factor. Figs. 22 - 24 indicate how the boost factor affects the daily pumped water. For the same PSH and water head, it can be seen that the apparently augmentation of daily water delivery as a result of the increasing in motor speed. However, during the experiments, it can be observed that the large boost factor applied to pumping system can cause the motor to operate in overload situation.

Table 4 The variation of daily water delivery with PSH and PV configurations

PSH	2.32 kW_p array Without boost factor Q (m^3/day)			1.74 kW_p array without boost factor Q (m^3/day)			1.74 kW_p array with 1.05 boost factor Q (m^3/day)			1.74 kW_p array with 1.1 boost factor Q (m^3/day)		
	head											
	2 m	5 m	10 m	2 m	5 m	10 m	2 m	5 m	10 m	2 m	5 m	10 m
2.02	94.69	56.75	17.14	78.36	37.91	0.06	88.88	56.57	4.53	89.74	53.31	4.24
2.93	103.56	72.56	42.46	81.21	47.37	4.68	90.16	61.30	11.06	93.04	61.45	19.77
3.99	127.32	92.42	64.80	95.43	58.77	7.71	105.47	72.73	16.45	111.30	74.03	30.94
5.01	145.85	115.68	79.50	107.66	71.75	8.42	116.39	85.09	19.88	123.78	90.66	35.84
6.29	149.96	126.86	90.61	109.19	77.54	9.26	117.49	89.80	22.91	122.87	95.66	38.10
6.75	165.47	137.28	99.37	119.08	82.94	8.47	128.70	96.70	24.81	136.11	102.90	40.62

5. Conclusion

The small-scale PV water pumping system was test and the empirical model based on the test results was obtained. This model was used to estimate the instantaneous flow rate for a given head and irradiance. The overall system and component efficiency are also collected from the experiment in order to investigate the performance for different system configurations. Finally, the daily water delivery for various peak sun hour and two different PV array configurations was evaluated. It can be summarized that for the area receiving 5 PSH solar irradiance (in the case of Thailand) and high head such as 10 meters, the PV array power should be twice the pump power in order to meet 80 m^3/day of water supply.

However, for lower head (2-5 m), the 1.5 times of PV array power to pump power can satisfy at least 100 m^3/day of water delivery. The oversized PV array is not necessary since its system efficiency

will be lower than that of the optimum size PV array. In addition, the boost factor can greatly enhance approximately 20–30% the pumping performance without increasing PV array size.

The daily water delivery summarized in section 4.3 should be a design guideline for a pumping system similar to experimental system. A well-designed standalone PV pumping system decreases cost of PV equipment which makes it more interested in economic point of view and encourage the solar pump penetration.

References

[1] Hrayshat, E.S.; Al-Soud M.S.; Li Z.; and Lu L. 2004. Potential of solar energy development forwater pumping in Jordan. *Renewable Energy* 29(8): 1393–9.

[2] Munir, A.; Al-Karaghouli, A.A.; and Al-Douri, A.A.J. 2007. A PV pumping station for drinkingwater in a remote residential complex. *Desalination* 209: 58–63.

[3] Djoudi Gherbi, A.; Hadj Arab, A.; and Salhi, H. 2017. Improvement and validation of PV motor-pump model for PV pumpingsystem performance analysis. *Solar Energy* 144: 310–320.

[4] Jafar, M. 2000. A model for small-scale photovoltaic solar water pumping. *Renewable Energy* 19: 85–90.

[5] Adelmalek Mekeddem; Abdelhamid Midoun; Kadri, D.; Said Hiadrsi; and Iftikhar A. Raja. 2011. Performance of a directly-coupled PV water pumping system. *Energy Conversion and Management* 52: 3089–3095.

[6] Ghoneim, A.A. 2006. Design optimization of photovoltaic poweredwater pumping systems. *Energy Conversion and Management* 47: 1449–1463.

[7] Benghanem, M.; Daffallah, K.O.; Alamri, S.N.; and Joraid, A.A. 2014. Effect of pumping head on solar water pumping system. *Energy Conversion and Management* 77: 334–339.

[8] Protogeropoulos, C. and Pearce, S. 2000. Laboratory evaluation and system sizing charts for a second generation direct PV-powered, low cost submersible solar pump. *Solar Energy* 68 (5): 453–474.

[9] Short, T.D. and Burton, J.D. 2003. The benefits of induced flow solar powered water pumps. *Solar Energy* 74: 77–84.

[10] Mona, N. Eskander and Aziza M. Zaki. 1997. A maximum efficiency photovoltaic-induction motor pump system. *Renewable Energy* 10 (1): 53–60.

[11] Aziza M. Zaki and Mona, N. Eskander. 1996. Matching of photovoltaic motor–pump systems for maximum efficiency operation. *Renewable Energy*, 7 (3): 279-288.

[12] Betka, A. and Moussi, A. 2004. Performance optimization of a photovoltaic induction motor pumping system. *Renewable Energy* 29(14): 2167-2181.

[13] Taha, M.S. and Suresh, K. 1996. Maximum power point tracking inverter for photovoltaic source pumping applications. In *Proceeding of International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth*. India, 8–11 Jan 1996. Vol.2: 883–886.

[14] Abdel-Karim Daud and Marwan M. Mahmoud. 2005. Solar powered induction motor-driven water pump operating on a desert well, simulation and field tests. *Renewable Energy* 30(5): 701–714.

[15] Benlarbi, K.; Mokrani, L.; and Nait-Said, M. 2004. A fuzzy global efficiency optimization of a photovoltaic water pumping system. *Solar Energy* 77(2): 203–216.

[16] Arab, A.; Chenlo, F.; and Benghanem, M. 2004. Loss-of-load probability of photovoltaic water pumping systems. *Solar Energy* 76(6): 713–723.

[17] Rungsiyopas, M.; and Chuenwattanapraniti, C. 2017. Effect of installed photovoltaic array capacity on the performance of surface pumping systems. *Journal of Research and Applications in Mechanical Engineering* 5(2): 82–93.

[18] Benghanem M.; Daffallah K.O.; and Almohammedi A. 2018. Estimation of daily flow rate of photovoltaic water pumping systems using solar radiation data. *Results in Physics* 8: 949-954.

[19] Argaw N. 1995. Photovoltaic water pumps coupled with DC/AC inverter. *International Journal of Solar Energy* 18(1): 41-52.

[20] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. 2009. The solar radiation map. Bangkok: Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy.

[21] Janjai, S.; Laksanaboonsong, J.; Nunez, M.; and Thongsathitya, A. 2005. Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for a tropical environment. *Solar Energy* 78(6): 739–751.

Authors' Biography:

Dr.Montana Rungsiyopas is a lecturer of mechanical engineering at Department of Mechanical Engineering, Burapha University. Her research interests are thermal systems, energy technology and applications.

Asst. Prof. Dr.Chokchai Chuenwattanapraniti is an assistant professor of electrical engineering at Department of Electrical Engineering, Burapha University. His research interests are power electronics applications and photovoltaic systems.

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นภาษากายของคน สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อ

Using the Convolution Neural Network to Predict Human Body Languages for Two Wheel Drive Robot Control

ดำรงค์ศักดิ์ กิจเดช* และ วีระพันธ์ ด้วงทองสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : dumrongsakk@sau.ac.th, 02-8074500-27 ต่อ 404, 302

วันที่รับบทความ: 12 พฤษภาคม 2565 / วันที่แก้ไขบทความ: 15 มิถุนายน 2565 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 16 มิถุนายน 2565

บทคัดย่อ ปัจจุบันมีการใช้ปัญญาประดิษฐ์มาช่วยงานในหลายเรื่องและบ่อยครั้งที่จำเป็นต้องใช้กล้องร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อให้เป้าหมายลุล่วงไปได้ โดยทั่วไปหุ่นยนต์จะใช้การควบคุมอัตโนมัติหรือการควบคุมผ่านตัวควบคุม อย่างไรก็ตามความอิสระและเป็นธรรมชาติค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการใช้โครงขายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นทำนายภาษากายของคนสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อเพื่อเพิ่มความอิสระในการควบคุม หลักการทำงานคือกล้องจะทำการรับภาพและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ ท่าทางที่ประมาณได้จะถูกส่งเป็นสัญญาณไร้สายจากคอมพิวเตอร์ไปยังหุ่นยนต์เพื่อให้ทำงานตามคำสั่ง การทดลองจะใช้ภาพจากกล้องหลายชนิดในการเก็บภาพสำหรับทำการฝึกปัญญาประดิษฐ์ เมื่อได้ค่าน้ำหนักที่ใช้ในการทดลองแล้ว ระบบจะถูกปรับปรุงเพื่อให้สามารถทำงานแบบเวลาจริง ผลที่ได้คือใช้เวลาในการประมวลผลแต่ละภาพโดยเฉลี่ย 0.05 วินาที ค่าความถูกต้องอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม, คอนโวลูชั่น, การควบคุมหุ่นยนต์, ภาษากาย, ปัญญาประดิษฐ์

Abstract Currently, artificial intelligent (AI) has been used to contribute in many applications. In several time, a camera is used together with the AI to achieve the working target. In general, the robots are controlled by means of automatic control or remote control system which the degrees of freedom are quite small. Thus, this research presented a convolutional neural network (YOLOv5) to predict the human body languages in order to control the robots. Convolution neural network can be used to predict the human postures. After that, all signals were sent to the robots via wireless computer system for working on order. For experiments, the images from several cameras were used for the AI training. After that, the system was approved for the real-time operation. The results indicated that the each prediction time was averaged about 0.05 second and the accuracy of 80 percent.

Keywords: Neural Networks, Convolution, Robot Control, Body language, AI

1. บทนำ

ปัจจุบันกล้องถูกนำมาใช้งานร่วมกับหุ่นยนต์มากขึ้นดังใน [1] และ [2] เนื่องจากต้องการความยืดหยุ่นในการหยิบจับวัตถุและการหาวัตถุ ในการควบคุมหุ่นยนต์โดยปกติจะใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติหรือการควบคุมแบบใช้ตัวควบคุม (Remote Control) อย่างไรก็เมื่อต้องการสั่งงานด้วยตัวเองนั่นคือการใช้ Remote Control ความยืดหยุ่นในการสั่งงานนั้นค่อนข้างน้อยและหากเป็นผู้ใช้งานใหม่จะทำการควบคุมได้ยาก

ปัญญาประดิษฐ์ถูกพัฒนาและออกแบบมาในหลายรูปแบบหากต้องการรู้แค่ชนิดและตำแหน่งที่วัตถุอยู่จะเป็นกลุ่มของ YOLO (You Only Look Once) โดยมีตั้งแต่ YOLOv1 – YOLOv5 [3 - 7] ซึ่งแต่ละเวอร์ชั่นจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไปจึงได้มีการนำเวอร์ชั่นต่างๆมาเปรียบเทียบกันอยู่เสมอ เช่นการเปรียบเทียบกันระหว่าง YOLOv3 และ YOLOv5 ดังแสดงใน [3] นอกจากนี้ยังมีการดัดแปลงเพื่อเพิ่มความเร็วหรือผลลัพธ์ที่ได้อย่างเช่นการดัดแปลง YOLOv4 เป็น YOLOv4 tiny ใน [7] อีกกลุ่มของปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกพัฒนามาควบคู่กันคือ R-CNN (region-based convolutional neural networks) โดยมีตั้งแต่ R-CNN, Mask R-CNN และ Fast R-CNN เป็นต้น โดยเทคนิคนี้เป็นการหาตำแหน่ง ชนิดและขอบของวัตถุที่สนใจ ซึ่งการเตรียมข้อมูลในเวลามากกว่าและใช้เวลาในการ Training ข้อมูลมากกว่า ดังแสดงใน [8] และยังมีการเปรียบเทียบข้ามกันระหว่างปัญญาประดิษฐ์ 2 แบบนี้ด้วยดังแสดงใน [5]

การใช้งานหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) [9 - 11] แบบขับเคลื่อนสองล้อมีอย่างต่อเนื่อง ลักษณะของหุ่นยนต์ประเภทนี้คือใช้เพียงแค่สองล้อในการขับเคลื่อนและมีล้อประคองเพื่อไม่ให้หุ่นยนต์ล้ม โดยงานวิจัยส่วนมากจะมีล้อประคองตั้งแต่ 1 – 4 ล้อ จำนวนล้อขึ้นอยู่กับการวางตำแหน่งของน้ำหนักและการวางตำแหน่งล้อ หุ่นยนต์ประเภทนี้ถูกนำไปใช้ในภารกิจต่าง ๆ เช่น การสำรวจ [11], การเคลื่อนยนต์วัตถุ เป็นต้น ซึ่งหากเป็นงานประเภทที่เป็นการทำงานแบบอัตโนมัติจำเป็นต้องมีเซ็นเซอร์ติดที่บริเวณล้อทั้งสองข้างเพื่อทำการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ [9] ซึ่งต้องทำการเขียนโปรแกรมแบบวงปิดและใช้การแปลงกลับ (Inverse Kinematic) ซึ่งเพิ่มความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายให้ระบบเป็นอย่างมาก

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการนำปัญญาประดิษฐ์เข้ามาช่วยในการประมาณท่าทางของคน ซึ่งคล้ายกับการใช้มือโบกรถจอดในช่องจอดรถโดยไม่ได้มีการพูดคุยโดยใช้เพียงแค่ท่าทางในการบอก หลักการทำงานคือ ผู้ควบคุมทำการแสดงท่าทางด้านหน้ากล้อง จากนั้นภาพที่ได้จะถูกส่งเข้าไปประมวลผลโดยใช้ YOLOv5 การประมวลผลทั้งหมดทำงานบนคอมพิวเตอร์จากนั้นคำสั่งจะถูกส่งเป็นสัญญาณแบบไร้สายไปยังหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์ทำงานตามคำสั่ง

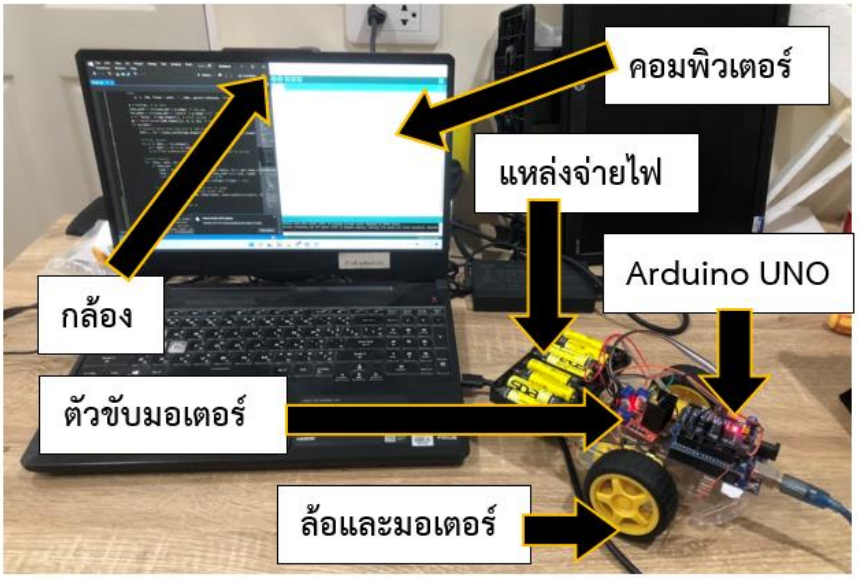
เนื่องจากการทำนายภาษากายของคนไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้เหมือนการประมาณท่าทางวัตถุในอุตสาหกรรมที่สามารถคุมสีของพื้นหลังและแสงที่ตกกระทบได้ทำให้สามารถใช้การประมวลผลภาพได้ (Image Processing) จึงจำเป็นต้องใช้ปัญญาประดิษฐ์เข้ามาแก้ปัญหาส่วนของสภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอน และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการทำนายภาษากายของคน หากต้องการการทำงานแบบเวลาจริงใช้การประมวลผลน้อยควรใช้เป็นปัญญาประดิษฐ์แบบ YOLO ซึ่ง YOLOv5 เป็นปัญญาประดิษฐ์ที่ใหม่ที่สุดในฝั่งของ YOLO โดยใช้เวลาในการฝึกข้อมูลน้อยที่สุด มีความแน่นยำมากที่สุด และมีความเร็วในการประมาณมากที่สุด

2. อุปกรณ์การทดลอง

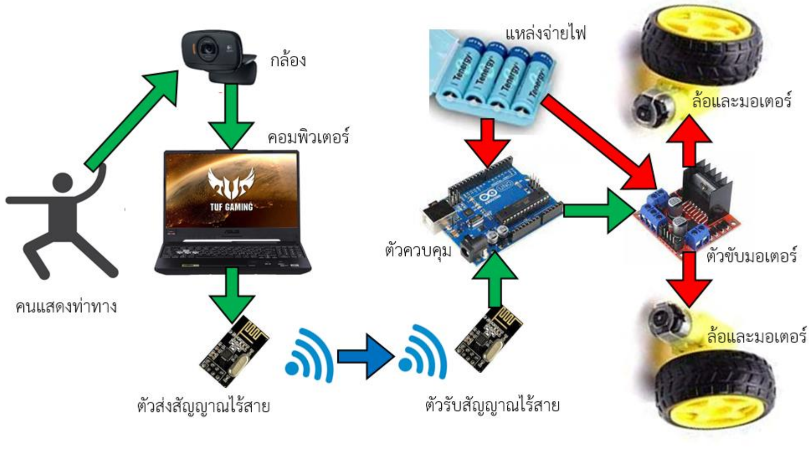
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีส่วนประกอบหลักคือ กล้อง Webcam สำหรับการเก็บภาพที่จะใช้ในการฝึกข้อมูลและการหาตำแหน่งและชนิดของวัตถุแบบเรียลไทม์ซึ่งจะถูกติดอยู่ที่ตัวคอมพิวเตอร์ ส่วนต่อมาคือคอมพิวเตอร์ Asus รุ่น Tuf gaming F15 ใช้ในการรับภาพ

จากกล้องแล้วนำมาประมวลผลโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ชนิด YOLOv5 ส่วนถัดมาคือ NRF24L01 โมดูลไร้สายติดตั้งไว้ 2 จุดคือที่คอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์

ส่วนต่อมาคือชุดหุ่นยนต์ขับเคลื่อนสองล้อขนาดเล็ก ภายในมีมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็ก 2 ตัว ล้อขับเคลื่อน 2 ล้อ ล้อหมุนอิสระ 1 ล้อ บอร์ด Arduino UNO ส่วนของตัวขับมอเตอร์เป็น L298N Driver ส่วนแหล่งจ่ายไฟใช้เป็นถ่าน AA ขนาด 1.2 โวลต์ 8 ก้อน โดยที่ภาพรวมโครงสร้างของหุ่นยนต์ถูกแสดงในรูปที่ 1 และการเชื่อมต่อระบบแสดงในรูปที่ 2 โดยที่กล้องจะทำการเก็บภาพท่าทางของคนและส่งไปยังคอมพิวเตอร์ โดยภายในจะมีส่วนของการรับภาพส่งไปยังปัญญาประดิษฐ์ จากนั้นผลที่ได้จะถูกประมวลผลและแปลงค่าส่งเป็นสัญญาณไร้สายไปยังตัวควบคุมที่หุ่นยนต์ โดยที่ตัวหุ่นยนต์จะมีแหล่งจ่ายไฟเป็นแบตเตอรี่ จากนั้นหุ่นยนต์จะส่งสัญญาณไปที่ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อทำให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่กำหนด



รูปที่ 1 ส่วนประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2 การเชื่อมต่อของระบบและหลักการทำงาน (ลูกศรสีเขียวคือสัญญาณ และลูกศรสีแดงคือไฟเลี้ยงระบบ)

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของการเตรียมข้อมูลและการฝึกข้อมูล และส่วนของขั้นตอนในการทดลอง

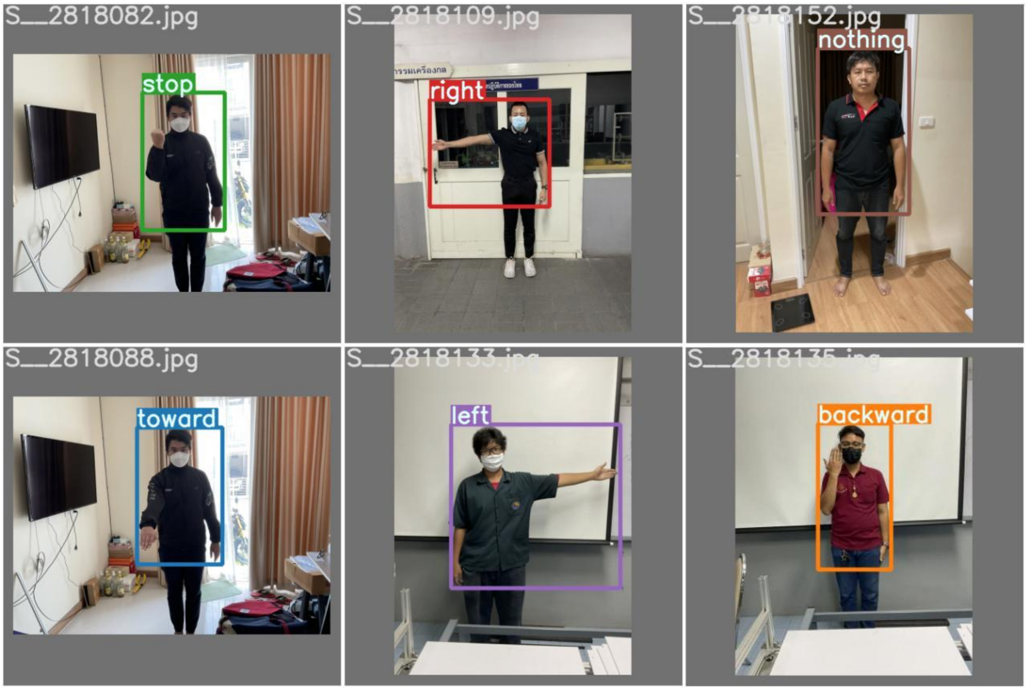
3.1 การเตรียมข้อมูล (Dataset) และการฝึกข้อมูล (Data Training)

งานวิจัยนี้ใช้ปัญญาประดิษฐ์ชนิด YOLOv5 (You Only Look Once Version 5) ในการทำนายตำแหน่งและท่าทางของคนซึ่งเป็นลักษณะของภาษากาย โดยที่ YOLOv5 มีพื้นฐานมาจากเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่น (Convolution Neural Networks) โครงสร้างของ YOLOv5 ถูกแสดงดังรูปที่ 3 จากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างมีความซับซ้อนกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชั่นมาก ปัจจุบันเป็นที่นิยมมากในการนำมาใช้งานร่วมกับกล้อง เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมชนิดนี้การฝึกข้อมูลใช้เวลาน้อยมากเมื่อเทียบกับโครงข่ายประสาทเทียมชนิดอื่น และยังสามารถปรับแต่งค่าต่าง ๆ ได้โดยง่าย โครงข่ายประสาทเทียมนั้นคือการจำลองโครงข่ายประสาทในสมองของมนุษย์นั่นเองซึ่งทำให้สามารถตัดสินใจในงานที่มีความซับซ้อนได้และมีความเร็วในการประมวลผลสูง โดยที่ความแม่นยำขึ้นอยู่กับจำนวนของภาพตัวอย่างและความหลากหลายของภาพตัวอย่างที่นำมาฝึกปัญญาประดิษฐ์

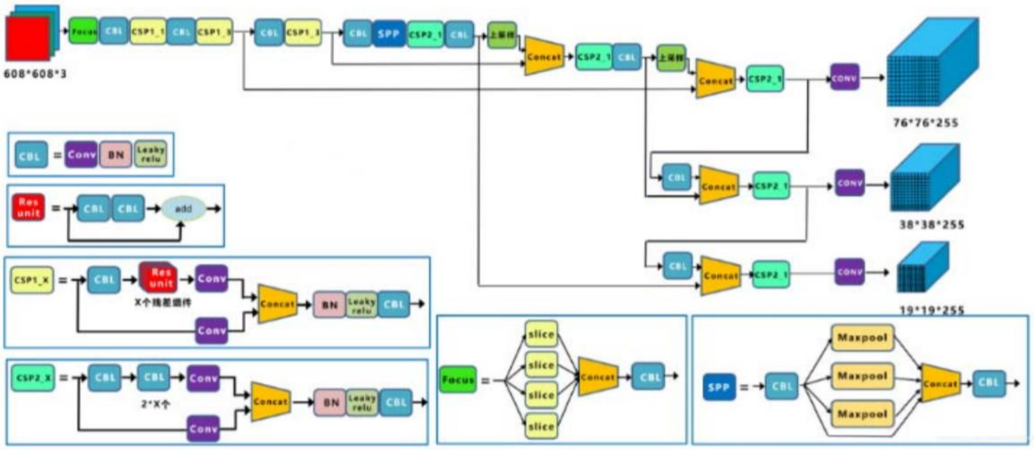
ภาพที่ใช้ในการฝึกปัญญาประดิษฐ์จะใช้ภาพที่ได้จากกล้อง Webcam ใช้ภาพตัวอย่างทั้งหมด 122 ภาพ คนที่เข้าร่วมการทดลอง 7 คน สถานที่เก็บภาพ 7 สถานที่ และมีทั้งหมด 6 ท่าทาง นั่นคือ เดินหน้า (Toward), ถอยหลัง (Backward), หยุด (Stop), เลี้ยวขวา (Right), เลี้ยวซ้าย (Left) และ ไม่ต้องทำอะไร (Nothing) ท่าทางต่างๆ ถูกแสดงดังรูปที่ 3 โดยภาพทั้งหมดเป็นภาพที่ใช้ในการฝึกปัญญาประดิษฐ์ (Training) 70 เปอร์เซ็นต์ ภาพที่ใช้ในการประเมินผลการฝึก (Valid) 10 เปอร์เซ็นต์ และภาพที่ใช้ในการทดสอบ หลังจากทำการฝึกปัญญาประดิษฐ์เรียบร้อยแล้วอีก 20 เปอร์เซ็นต์ ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการฝึกปัญญาประดิษฐ์มีดังนี้ใช้อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) อยู่ที่ 0.0003 ใช้ Batch size เป็น 16 จำนวนรอบในการฝึก (Epoch) ขนาดภาพที่ใช้ในการฝึกคือ 416x416 pixel อยู่ที่ 600 รอบ

โครงข่ายประสาทเทียมส่วนของแบบจำลองที่ใช้ในการทดลองเป็น YOLOv5 แบบ L โดยที่ YOLOv5 มีโครงข่ายประสาทเทียมทั้งหมด 4 แบบ คือ S, M, L และ X ดังแสดงในรูปที่ 5 ยิ่งโครงข่ายมีความซับซ้อนจะยิ่งต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลมากขึ้น แต่จะทำให้ระบบที่มีความซับซ้อนมากมีความแม่นยำขึ้นด้วย ภาพโครงข่ายประสาทเทียม YOLOv5 ส่วนของคอนโวลูชั่นถูกแสดงในรูปที่ 4 โดยส่วนนี้จะเป็นการผสมกันหลายชั้นของ Convolution Layer, BN (Batch Normalization) Layer และ Leaky ReLU (Rectified Linear Unit) เพื่อช่วยให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายท่าทางได้ดียิ่งขึ้น โดยที่ Convolution Layer คือการนำภาพมาใส่ตัวกรอง (Filter) แบบต่างๆ ส่วน Batch Normalization จะช่วยให้แต่ละ Layer ในโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองอย่างอิสระและลดการผูกติดกับ Layer อื่นๆ ส่วน Learky ReLU คือการเปลี่ยนค่าต่างๆให้เป็นค่าบวกทั้งหมดเนื่องจากการกรองภาพโดยใช้ Convolution Layer จะทำให้ค่าที่ได้บางค่ามีค่าติดลบทำให้ไม่สามารถแสดงภาพได้

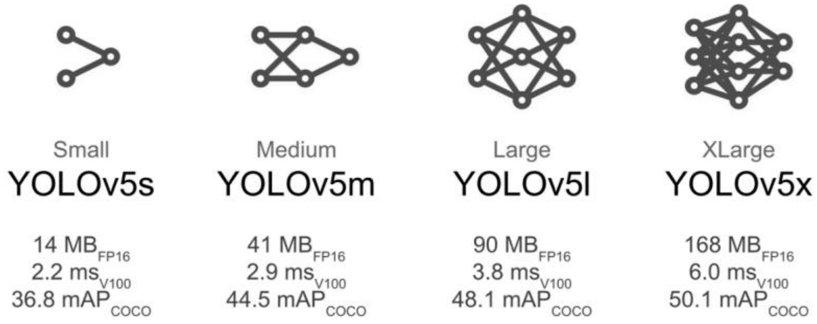
การฝึกปัญญาประดิษฐ์จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีการ์ดจอที่มีความสามารถในการแสดงผลสูง สำหรับช่วยในการฝึก โดยงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณบน Google Collab ซึ่งเป็นการประมวลผลแบบออนไลน์ โดยใช้การ์ดจอ NVIDIA Tesla T4 และเวลาในการฝึกข้อมูลทั้งหมด 1 ชั่วโมง 18 นาที 1 วินาที หลังจากทำการฝึกเสร็จจะได้แบบจำลอง (Model) สำหรับการทำนายท่าทางแบบเวลาจริง



รูปที่ 3 ท่าทางทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม YOLOv5 [12]



รูปที่ 5 แสดงขนาดต่างๆของแบบจำลอง YOLOv5 [13]

3.2 ขั้นตอนในการทดลอง

หลังจากทำการฝึกปัญญาประดิษฐ์โดยใช้การ์ดจอผ่าน Google Collab จนได้ค่าน้ำหนัก (Weight) มาแล้ว จากนั้นนำค่าน้ำหนักที่ได้มาใช้กับโปรแกรมส่วนของการทำนายท่าทาง ภาพรวมการทำงานถูกแสดงดังรูปที่ 3 โดยเริ่มจากกล้องทำการรับภาพท่าทางที่คนทำอยู่ขณะนั้นและส่งไปให้ YOLOv5 ซึ่งทำงานผ่านโค๊ด Python ถ้าตรวจจับพบท่าทางที่กำหนดไว้ในการฝึกตัว YOLOv5 จะทำการระบุว่าเป็นท่าอะไรและอยู่ตำแหน่งไหนของภาพ จากนั้นจะทำการส่งท่าที่พบออกไปเป็น String ไปยังบอร์ด Arduino UNO ที่อยู่กับคอมพิวเตอร์จากนั้นบอร์ดจะทำการส่งสัญญาณแบบไร้สายไปยังตัวรับสัญญาณไร้สายอีกตัวหนึ่ง เมื่อบอร์ด Arduino UNO ที่อยู่ที่ตัวหุ่นยนต์ได้รับสัญญาณแล้วจะทำการแปลงค่าจาก String เป็น Integer และทำการสั่งมอเตอร์ผ่านทางตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ ให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามท่าทางที่สั่งงานไว้ผ่านท่าทาง โดยที่ลักษณะการทำงานจะเป็นไปตามรูปที่ 6 ซึ่งเป็นการสั่งงานให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามท่าทางที่กำหนด

ขั้นตอนการเก็บผลการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ส่วนแรกคือการทดลองแบบรับภาพที่มีอยู่แล้วและทำการทำนายท่าทางโดยไม่ได้นำไปควบคุมหุ่นยนต์ ส่วนที่สองเป็นการรับภาพจากกล้องโดยตรงจากนั้นทำการทำนายและส่งผลที่ได้ไปควบคุมหุ่นยนต์ทันที

สำหรับส่วนแรกมีการเก็บผลสองแบบ แบบแรกคือการเก็บผลในระหว่างการฝึกข้อมูลโดยผลจะได้จากการใช้ภาพที่มีอยู่ในการฝึกและการใช้ภาพที่ไม่ได้มีอยู่ในการฝึก โดยผลที่ได้จะถูกแสดงเป็นกราฟแกน y แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์มีค่าระหว่าง 0 – 1 และแกน x แสดงเป็นจำนวนครั้งที่ทำการฝึกข้อมูล โดยมีค่าที่แสดงดังนี้ Box, Objectness, Classification, Precision, Recall, Val Box, Val Objectness, Val Classification และ mAP (mean Average Precision) จากนั้นนำค่า Precision และค่า Recall มาเทียบกับค่า Confidence ด้วย แบบที่สองคือการนำภาพที่ไม่ได้อยู่ในการฝึกข้อมูลและการประเมินผลข้อมูล แต่ยังคงเป็นภาพของคนที่ใช้ในการฝึกข้อมูลอยู่โดยการสุ่มภาพมาทั้งหมด 10 ภาพ จากนั้นทำการทำนายแล้วเทียบกับเฉลยและเวลาที่ใช้

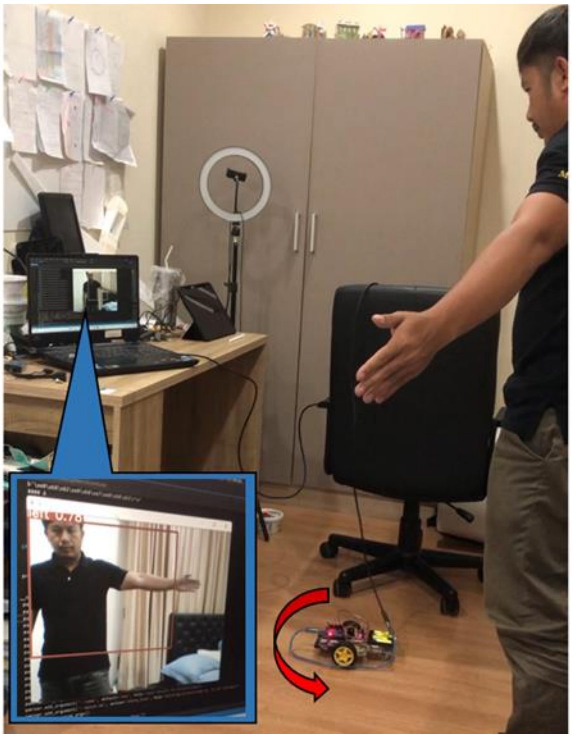
ส่วนที่สองคือการทดสอบแบบเวลาจริงโดยใช้ผู้ทดสอบสองคนคือคนที่มีภาพอยู่ในการฝึกข้อมูลและอีกคนไม่มีภาพอยู่ในการฝึกข้อมูลทำการทดสอบท่าละ 3 ครั้ง ทุกครั้งจะทำการเปลี่ยนเสื้อเป็นสีที่มีในการฝึกข้อมูล 2 ชุด และสีที่ไม่มีในการฝึกข้อมูลอีก 1 ชุด ทั้งสองคน ผลที่ได้คือท่าที่ทำนายได้เทียบกับท่าที่ทำจริงและจับเวลา

$$\text{precision} = \frac{tp}{tp + fp} \qquad (1)$$

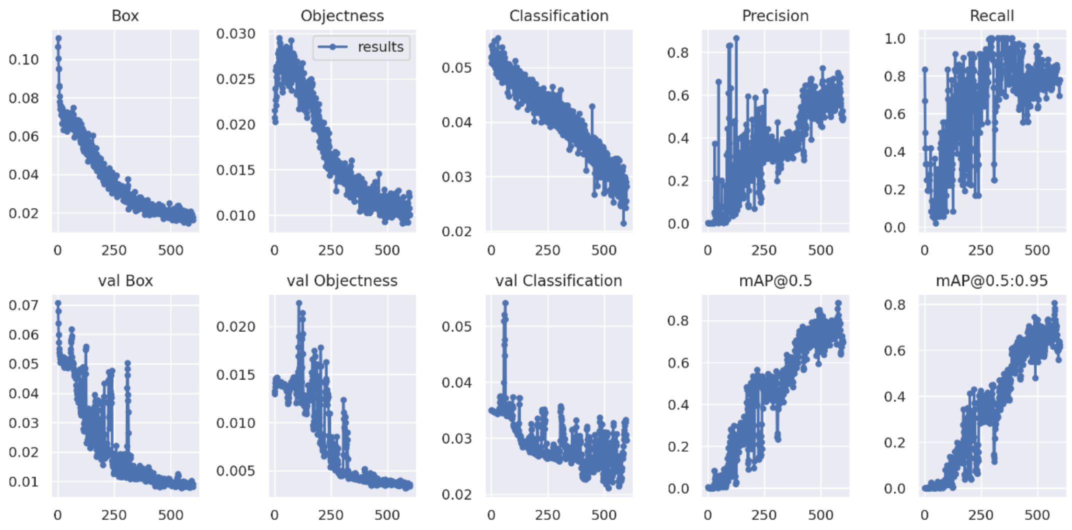
$$\text{recall} = \frac{tp}{tp + fn} \qquad (2)$$

$$F_1 = \left(\frac{\text{recall}^{-1} + \text{precision}^{-1}}{2}\right)^{-1} \qquad (3)$$

จากสมการด้านบน tp คือทำนายว่าใช่และใช่จริง ส่วน fp คือทำนายว่าใช่และไม่ใช่จริงและ fn คือทำนายว่าไม่ใช่แต่ความจริงใช่ ค่า Precision คือค่าความแม่นยำสามารถหาได้จากสมการที่ (1) ค่า Recall คือค่าความถูกต้องสามารถหาได้จากสมการที่ (2) และค่า F_1 Score คือค่าเฉลี่ยของ Precision และ Recall ดังแสดงในสมการที่ (3) ส่วน Confidence คือค่าความเชื่อมั่น สมมติว่า ตัวปัญญาประดิษฐ์ทำนายท่าทางว่าคือเลี้ยวขวา โดยมีความเชื่อมั่นว่าคือขวาถึง 60% แต่ค่าความเชื่อมั่นไม่ได้เป็นการรับประกันความถูกต้อง



รูปที่ 6 การทดลองสั่งงานหุ่นยนต์ผ่านท่าทาง



รูปที่ 7 ผลจากการฝึกปัญญาประดิษฐ์

4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบภาพที่ไม่ได้นำไปฝึกปัญญาประดิษฐ์และไม่ได้นำไปประเมินผล ซึ่งเป็นการทดลองโดยการนำภาพมาเข้าโปรแกรมโดยตรงไม่ผ่านกล้อง โดยตารางประกอบด้วยท่าทางของภาพ ท่าทางที่ทำนายได้ เวลาที่ใช้ในแต่ละภาพ และค่าเฉลี่ยเวลา โดยสามารถตรวจจับได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้เฉลี่ยต่อภาพคือ 0.0384 วินาที

รูปที่ 7 แสดงผลที่ได้จากการฝึกปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งไม่ได้นำภาพอื่นมาทำการทดสอบและไม่ได้ทำงานแบบเรียลไทม์ โดยเราจะพิจารณาผลการฝึกข้อมูลในรอบที่ 500 ซึ่งแกน y แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์มีค่าระหว่าง 0 – 1 และแกน x แสดงเป็นจำนวนครั้งที่ทำการฝึกข้อมูล กราฟ Box แสดงค่าความผิดพลาดในการตีกรอบท่าทางที่ทำนายได้ซึ่งอยู่ที่ 2 เปอร์เซ็นต์ กราฟ Objectness แสดงค่าความไม่ปกติของการทำนายท่าทางซึ่งอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ กราฟ Classification แสดงค่าความผิดพลาดในการทำนายท่าทางซึ่งอยู่ที่ 2.5 เปอร์เซ็นต์ กราฟ Precision คือค่าความแม่นยำอยู่ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ Recall คือค่าความถูกต้องอยู่ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Val Box, Val Objectness และ Val Classification คือการนำภาพที่ไม่ได้นำมาฝึกปัญญาประดิษฐ์มาทดสอบกับแบบจำลองที่ทำการฝึกแล้ว ซึ่งมีค่าผิดพลาดอยู่ที่ 1 เปอร์เซ็นต์, 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กราฟ mAP ที่ความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.5 แสดงค่าเฉลี่ยความแม่นยำของทุก Class ของวัตถุที่ทำการทำนาย มีค่าเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ และที่ค่าความเชื่อมั่นระหว่าง 0.5 – 0.95 อยู่ที่ 75 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 2 แสดงการเก็บผลการทดลองแบบเรียลไทม์ผ่านกล้อง โดยที่ตารางส่วนที่แรเงาแสดงผลการทดลองของผู้ร่วมทดลองที่ไม่ได้มีอยู่ในการฝึกข้อมูล โดยที่ทำการทดลองสามครั้ง ครั้งที่1 ใส่เสื้อสีเหลืองที่ไม่ได้นำมาใช้ในการฝึกข้อมูล ครั้งที่ 2 และ 3 เป็นเสื้อสีเลือดหมูและเทา ตามลำดับ ซึ่งเป็นสีของเสื้อที่ใช้ในการฝึกข้อมูล ส่วนตารางส่วนที่ไม่ได้แรเงาแสดงผลการทดลองของผู้ร่วมทดลองที่มีอยู่ในการฝึกข้อมูล โดยที่ทำการทดลองสามครั้ง ครั้งที่1 ใส่เสื้อฟ้าที่ไม่ได้นำมาใช้ในการฝึกข้อมูล ครั้งที่ 2 และ 3 เป็นเสื้อสีเลือดหมูและเทา ตามลำดับ ซึ่งเป็นสีของเสื้อที่ใช้ในการฝึก จากการทดลองพบว่าการใช้สีของเสื้อที่ไม่ได้มีอยู่ในการฝึกข้อมูลร่วมกับผู้ร่วมการทดลองที่ไม่ได้มีอยู่ในการฝึกข้อมูล ทำให้ความสามารถในการทำนายลดลงอย่างมาก อยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ และท่าที่สามารถทำนายได้ถูกอยู่ที่ 33.33 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้เฉลี่ย 1.1217 วินาที ในทางกลับกัน การใช้สีของเสื้อที่มีอยู่ในการฝึกข้อมูลร่วมกับผู้ร่วมการทดลองที่มีอยู่ในการฝึกข้อมูล ทำให้ความสามารถในการทำนายเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยสามารถทำนายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องอยู่ที่ 66.66 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้เฉลี่ย 1.1227 วินาที

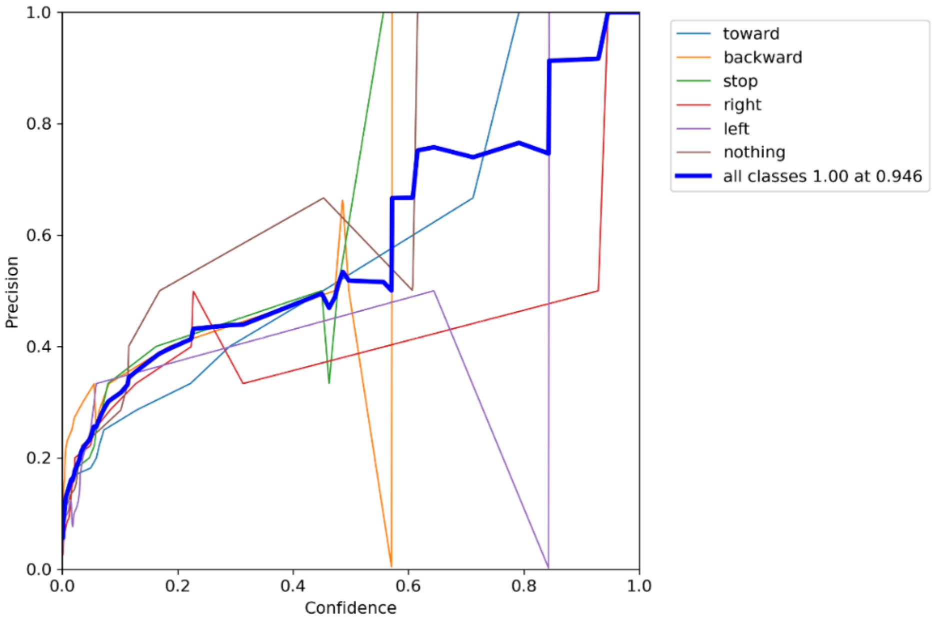
รูปที่ 8 แสดงค่า Precision เทียบกับค่าความเชื่อมั่น (Confidence) ผลคือยิ่งมีความเชื่อมั่นมากยิ่งมีความแม่นยำมากขึ้นตาม และรูปที่ 9 แสดงค่า F_1 เทียบกับค่าความเชื่อมั่น ค่า F_1 สูงสุดคือ 0.6 ที่ค่าความเชื่อมั่น 0.55

ตารางที่ 1 แสดงเวลาที่ใช้ในการหาตำแหน่งและจำแนกท่าทางคนโดยการสุ่มภาพจากภาพที่ไม่ได้ใช้ในการฝึก

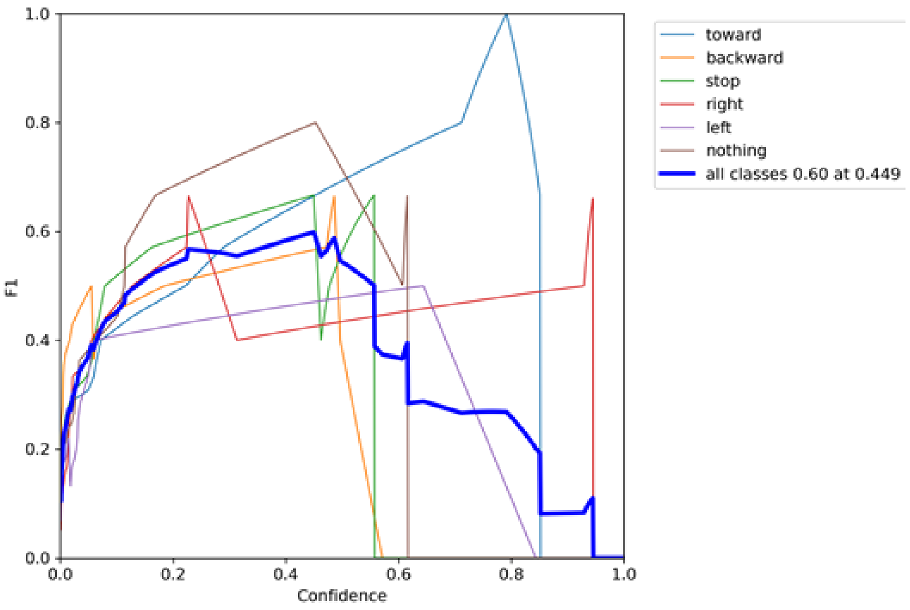
ภาพที่	ท่าทางของภาพ	ท่าทางที่ตรวจจับได้	เวลาที่ใช้
1	Nothing	Toward	0.054s
2	Right	Right	0.054s
3	Right	Right	0.028s
4	Left	Left	0.027s
5	Toward	Toward	0.029s
6	Nothing	Toward	0.054s
7	Stop	Backward	0.051s
8	Left	Right	0.027s
9	Nothing	Toward	0.027s
10	Backward	Backward	0.033s
เวลาที่ใช้เฉลี่ย			0.0384

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการหาตำแหน่งและจำแนกท่าทางคนโดยใช้ผู้ร่วมการทดลอง 2 คน (ส่วนที่แรเงาคือผู้ ร่วมการทดลองที่ไม่ได้มีภาพอยู่ในการฝึกข้อมูล และส่วนที่ไม่ได้แรเงาคือผู้ร่วมการทดลองที่มีภาพอยู่ในการฝึกข้อมูล)

ท่าทางจริง	**ทำนายได้ ครั้งที่ 1**	**เวลาที่ใช้**	**ทำนายได้ ครั้งที่ 2**	**เวลาที่ใช้**	**ทำนายได้ ครั้งที่ 3**	**เวลาที่ใช้**
Nothing	-	-	Toward	1.125	Toward	1.120
Toward	-	-	Toward	1.126	Toward	1.124
Backward	-	-	Backward	1.121	Backward	1.128
Stop	Right	1.117	Backward	1.128	Backward	1.117
Right	Left	1.121	Left	1.121	Right	1.129
Left	Left	1.127	Left	1.121	Left	1.122
เวลาเฉลี่ย		1.1217		1.1237		1.123
Nothing	-	-	Toward	1.120	Toward	1.113
Toward	Toward	1.118	Toward	1.117	Toward	1.125
Backward	-	-	Backward	1.125	Backward	1.124
Stop	Backward	1.126	-	-	Backward	1.125
Right	Right	1.126	Right	1.117	Right	1.124
Left	Left	1.114	Left	1.112	Left	1.125
เวลาเฉลี่ย		1.121		1.1182		1.1227



รูปที่ 8 ค่าความแม่นยำเทียบกับค่าความเชื่อมั่นของแต่ละท่าทาง



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยของความแม่นยำและความถูกต้องเทียบกับค่าความเชื่อมั่นของแต่ละท่าทาง

5. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองในตารางที่ 1 เป็นการตัดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนและความไม่แน่นอนของภาพ ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ แต่ภาพที่ใช้ในการทดลองยังคงเป็นผู้ร่วมการทดลองที่ใช้ในการฝึกข้อมูล ความถูกต้องอยู่ที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ถือว่ายังต่ำอยู่ ส่วนตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการทดลองแบบเรียลไทม์ จากผลการทดลองพบว่ายิ่งใช้ผู้ร่วมการทดลองที่มากขึ้นและมีความหลากหลายของชุดที่มากจะช่วยให้ความถูกต้องและแม่นยำมีค่ามากขึ้น และการทำนายที่ผิดพลาดเกินจากท่าทางมีความคล้ายกันอย่างมากนั่นคือท่า Nothing และ Toward หากมองจากทางด้านหน้าจะพบว่ามีความแตกต่างน้อยมาก อีกท่าที่มีความคล้ายกันคือ Stop และ Backward ต่างกันแค่แบมือกับกำมือเท่านั้น ส่วนรูปที่ 7 ค่า Precision และ Recall มีการแกว่งไปมาอย่างมากแสดงถึงความไม่แน่นอนของสองค่านี้ ซึ่งเกิดจากการทายท่าทางที่ผิดพลาดของท่าทางสองคู่ด้านบน สุดท้ายคือรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าค่าความเชื่อมั่นมากไม่ได้แสดงถึงความถูกต้องเสมอไป

จากสรุปผลการทดลองข้างต้นสามารถนำมาสรุปเป็นผลการทดลองรวมดังนี้ คือจำเป็นต้องเพิ่มภาพที่ใช้ในการฝึกข้อมูลให้มากกว่านี้และใช้ผู้ร่วมการทดลองที่มากขึ้น รวมไปถึงจำนวนครั้งในการฝึกข้อมูล เพื่อให้สามารถทำนายท่าทางได้อย่างครอบคลุมกับทุกคนอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการเตรียมข้อมูลในการฝึกข้อมูลต้องใช้เวลาที่มาก โดยจะมีการเพิ่มชุดข้อมูลที่มากขึ้นในงานวิจัยต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Kijdech D. (2020). Weed Classification by Using Convolution Neural Network for Studying and Weed Eliminate Robot, The 7th SAU National Interdisciplinary Conference 2020, 29-30 May 2020.

[2] Kijdech D. and Vongbunyong S. (2021). Artificial Intelligence in Localization and Classification of Cactus for Automatic Watering Works, The 8th SAU National Interdisciplinary Conference 2021, 4-5 June 2021.

[3] Kuznetsova A., Maleva T. and Soloviev V., (2020). "Detecting Apples in Orchards Using YOLOv3 and YOLOv5 in General and Close- Up Images," Advances in Neural Networks – ISNN, pp. 233-243.

[4] Yang G., Feng W., Jin J., Lei Q., Li X., Gui G. and Wang W., (2020). "Face Mask Recognition System with YOLOV5 Based on Image Recognition," IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, pp. 1398-1404.

[5] Benjdira B., Khursheed T., Koubaa A., Ammar A. and Ouni K., (2019). "Car Detection using Unmanned Aerial Vehicles: Comparison between Faster R-CNN and YOLOv3," Proceedings of the 1st International Conference on Unmanned Vehicle Systems (UVS), Muscat, Oman, 5-7 February.

[6] Tian Y., Yang G., Wang Z., Wang H., Li E. and Liang Z., (2019). "Apple detection during different growth stages in orchards using the improved YOLO-V3 model," Computers and Electronics in Agriculture 157, pp. 417-426.

[7] Jiang Z., Zhao L., Li S. and Jia Y., (2020). "Real-time object detection method based on improved YOLOv4- tiny," Computer Vision and Pattern Recognition.

[8] He K., Gkioxari G., Dollar P. and Girshick R. (2021). Mask R-CNN, Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, pp. 2961-2969

[9] Myint C., and Nu Win N., (2016). "Position and Velocity control for Two-Wheel Differential Drive Mobile Robot," International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Volume 5, Issue 9, September 2016.

[10] Mondada F., Franzi E. and Ienne P., (2005) "Mobile robot miniaturisation: A tool for investigation in control algorithms," Experimental Robotics III, pp. 501–513.

[11] Desouza G. N. and Kak A. C., (2002). "Vision for mobile robot navigation: a survey," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(2), pp. 237–267.

[12] Yang G., Feng W., Jin J., Lei Q., Li X., Gui G. and Wang W., "Face Mask Recognition System with YOLOV5 Based on Image Recognition," IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), Chengdu, China, 2020, pp. 1398-1404.

[13] Dlužnevskij D., StefanoviČ P. and Ramanauskaite S., (2021). "Investigation of YOLOv5 Efficiency in iPhone Supported Systems," Baltic Journal of Modern Computing , 9(3), pp. 333-344.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นาย ดำรงค์ศักดิ์ กิจเดช

การศึกษา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)

งานวิจัยที่สนใจ : แขนกลอัตโนมัติ, หุ่นยนต์สำรวจ, ระบบวิชั่น, หุ่นยนต์คล้ายมนุษย์, ปัญญาประดิษฐ์

รศ.ดร. วีระพันธ์ ด้วงทองสุข

การศึกษา : วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาเครื่องกล วิศวกรรมเครื่องกล

งานวิจัยที่สนใจ : การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ทางความร้อน, การไหลสองสถานะ, ของไหลนาโน, การไหลในช่องทางการไหลขนาดเล็ก

Prostate Cancer Treatment Using Fixed-Time Synergetic Controller

Arsit Boonyaprapasorn[1*], Suwat Kuntanapreeda[2], Parinya Sa Ngiamsunthorn[3] and Kaned Thung-Od[4]
[1]Department of Mechanical Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon-Nayok, 26001 Thailand
[2]Faculty of Engineering, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800 Thailand
[3]Faculty of Science, Department of Mathematics, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140 Thailand
[4] Mechatronics Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham, 44150 Thailand
Corresponding author : urarl.urarl9@gmail.com

Received: 18 February 2022 / Revised: 21 May 2022 / Accepted: 22 June 2022

บทคัดย่อ การกำหนดการรักษาโรคมะเร็งต่อมลูกหมากสามารถดำเนินการได้บนพื้นฐานของการควบคุมป้อนกลับไม่เชิงเส้น ในการควบคุมป้อนกลับแบบเวลาบังคับ สามารถกำหนดขอบเขตของเวลาเข้าสู่ได้ล่วงหน้าโดยไม่ต้องคำนึงถึงเงื่อนไขเริ่มต้น วิธีการควบคุมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลายดังจะเห็นได้จากการสำรวจวรรณกรรมก่อนหน้านี้ วิธีการควบคุมแบบซินเนอร์เจติกสามารถที่จะควบคุมระบบไม่เชิงเส้นโดยปราศจากสัญญาณความถี่สูงในสัญญาณควบคุม ดังนั้นการศึกษาการประยุกต์ใช้การควบคุมซินเนอร์เจติกเวลาบังคับเพื่อสังเคราะห์การรักษาสำหรับผู้ป่วยโรคมะเร็งต่อมลูกหมากจึงได้มีการค้นคว้าในการศึกษานี้ และได้จำลองสถานการณ์ของระบบควบคุมมะเร็งต่อมลูกหมากเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถของการรักษาที่ได้เสนอในการศึกษานี้ ผลการจำลองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าตัวแปรสภาวะของระบบควบคุมนี้ลู่เข้าสู่ระดับที่ต้องการภายในขอบเขตของเวลาที่ได้กำหนดล่วงหน้าของตัวแปรแมคโครที่สอดคล้องด้วยการรักษาที่ปราศจากสัญญาณความถี่สูง จากการควบคุมการรักษาที่ได้นำเสนอนี้ ระบบควบคุมมะเร็งต่อมลูกหมากมีเสถียรภาพแบบเวลาบังคับโดยปราศจากสัญญาณความถี่สูงในการรักษา

คำสำคัญ : มะเร็งต่อมลูกหมาก, การควบคุมป้อนกลับไม่เชิงเส้น, การควบคุมซินเนอร์เจติก, การลู่เข้าในเวลาบังคับ

Abstract Treatment for prostate cancer can be determined based on nonlinear feedback control. In fixed-time feedback control, the bound of settling time can be pre-specified regardless of an initial condition. This control method has been successfully employed in various applications as seen in past literature. The synergetic control method is capable of controlling nonlinear systems under chattering free control inputs. Thus, studying the application of fixed-time synergetic control to synthesize the treatment for a prostate cancer patient was investigated in this study. The controlled prostate cancer

treatment system was simulated to demonstrate the capability of the proposed treatment. Apparently, the state variables of the control system were driven to the required level within the pre-defined bound of the convergence time of the corresponding macro variables by the chattering-free control treatments. According to the proposed control treatment, the controlled prostate cancer treatment system has fixed-time stability without chattering in the control treatment.

Keywords: prostate cancer, nonlinear feedback control, synergetic control, fixed-time convergence

1. Introduction

Referring to information provided by WHO [1], cancer is one of the deadliest diseases. In 2018, the lives of approximately 9.6 million individuals around the world were taken away by the disease [2]. One of the common detected cancerous tumors in males is prostate cancer [1, 3]. In 2018, the prevalence of prostate cancer was approximately 1,280,000 cases; and the mortality rates were higher than 350,000 deaths [4 - 6]. The symptoms are, for example, anemia, renal failure, and paralysis caused by spinal metastases [6, 7]. The prostate cancer can be detected by using digital rectal examination (DRE), which measures the level of serum prostate-specific antigen (PSA), and MRI [5]. Androgen deprivation therapies (ADT) are normally used to suppress the prostate cancer during the metastatic stage. This approach can be achieved by using androgen-suppressing agents or castration [7]. Nowadays, more effective and safer androgen-suppressing agents such as gonadotropin-releasing-hormone (GnRH) analogues are commonly used for the treatment [7].

Like other types of cancer, during the last two decades, the mathematical models for prostate cancer were developed and presented in various forms [8 - 12]. These models represent the dynamic growth of prostate cancer as affected by the androgen hormones in the male reproductive system. They were constructed based on the populations of cancers, related antigens, and different regimens of therapies [10]. According to [8 - 12], androgen-dependent (AD) cells, androgen-independent (AI) cells, were commonly considered as state variables of the prostate cancer system. For the treatment, typical therapies such as continuous and intermittent ADT were generally considered as control variables or inputs. This mathematical representation is feasible for the designers to apply feedback control to determine the treatment for a prostate cancer patient [8, 11]. Iedata et al. [8] presented the mathematical model of prostate cancer with a control variable. In their model, the control variable represents the control androgen hormone. Also, the feedback control was applied to define the treatment for a patient. According to [11], sliding mode control was employed to define the prostate cancer treatment. The treatment given by the sliding mode control was robust to uncertainties or noises [13]. However, the chattering phenomena is the drawback and needs to be addressed. In [11], the chattering was solved by employing the super twisting sliding mode control to determine the cancer treatment.

The synergetic control is a suitable approach applicable for complex nonlinear high-order systems. This method was introduced by Kolesnikov et

al. [14 - 16]. If a proper selection of the macro variables of the synergetic controller is made, it is possible to obtain the desired characteristics of the control system, including parameter insensitivity, noise suppression, and global stability. Importantly, the control system with a set of chattering- free control inputs is attained [17].

Finite time convergence control can drive the state variables of a dynamical system to their equilibrium points in finite time. This finite time can be pre-determined by the designer based on the controller parameters and the initial condition of the control system [18, 19]. For synergetic control, this convergence characteristic can be achieved by using the terminal or finite time synergetic control as well. This type of synergetic control was also applied in various nonlinear high-order dynamical systems such as robotics [20], mechanical systems [21], electrical systems [22], and glucose regulation homeostasis [23].

However, when the information of the initial condition is lacking or unknown, the designer cannot determine the convergence time of the control system in advance. This drawback can be solved by using the concept of fixed-time control which is firstly introduced with sliding mode control by Polyakov et al. [24]. The key advantage of the fixed-time control is that the bound of convergence time or settling time can be pre-specified from the controller parameters without requiring the information relevant to the initial conditions. The concept of fixed-time convergence was also employed with the synergetic control by selecting the dynamic evolutions of macro variables that satisfy this characteristic. This control method is known as the fixed-time synergetic control [25 - 27]. Thus, two improvements regarding to convergence and chattering- free properties can be achieved. Several applications of fixed-time synergetic control which includes power systems [25] and hydraulic systems [26]. Also, this type of synergetic control has been utilized to control the biological systems such as glucose systems [27] and biological pest control systems [28]. Dubey and Chakraborty [11] have applied the super twisting sliding mode control in this application. However, the pre-specifying bound of the settling time has not been analyzed.

Given the advantages of the fixed-time synergetic control, this work is aimed to study the application of the fixed- time synergetic controller design procedure to synthesize the treatment of prostate cancer. To the best of the authors' knowledge, this control method has not been applied to the prostate cancer control.

This paper is organized in the following sections. The mathematical representation of the prostate cancer system is illustrated in Section 2. In Section 3, the fixed- time synergetic controller design for prostate cancer treatment is provided. Section 4 shows the simulation of the controlled prostate cancer treatment system. Section 5 is the study conclusion.

2. Materials and Methods

According to the advantages of hormone therapy, the model structure proposed by Ideta et al. [8] is appropriate for determining the treatment based on the feedback control. The model consists of three state variables including the concentration of AI cell, the concentration of AD cell, and the concentration of the androgen. The model has one control input affecting the androgen concentration. The further modified version of the model by Ideta et al. [8] is presented by Tanaka et al. [12] and Dubey and Chakraborty [11]. In [11], the three control inputs were added into

the model in [8]. These control inputs directly affect each concentration of the AD cell, the AI cell, and the androgen cell. According to [11], the model can be presented as (1) [8, 11]:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \alpha_x (k_1 + (1-k_1)\frac{z}{z+k_2})x \\ &\quad - \beta_x (k_3 + (1-k_3)\frac{z}{z+k_4})x \\ &\quad - m_1(1-\frac{z}{z_0}) + u_1, \\ \dot{y} &= \alpha_y (1-\frac{dz}{z_0}) - \beta_y y + m_1(1-\frac{z}{z_0}) + u_2, \\ \dot{z} &= -\frac{1}{\tau} z + u_3,\end{aligned} \tag{1}$$

where x and y denote the population of the AD cells and the AI cells, respectively; and z denotes the concentration of the androgen. The variables u_1, u_2, and u_3 represent the control inputs.

The model parameters in [8, 11] are defined as follows. Parameters referring to the rates of proliferation and apoptosis corresponding to the AD cells are denoted by α_x and β_x, respectively; when $z = z_0$. Likewise, the parameter α_y denotes the proliferation of AI cells at $z = 0$, and the parameter β_y denotes apoptosis rates of AI cells. The parameter k_1 is associated with the proliferation rate of the AD cells, $\alpha_x k_1$, at $z = 0$. The plausible rate of the AD cells is denoted by k_2. The parameter k_3 is associated with the apoptosis rate of the AD cells, $\beta_x k_3$, at $z = 0$. The parameter k_4 represents the plausible rate of the apoptosis rate corresponding to the AD cells. The rate of mutation from AD to AI cells when $z = 0$ is represented by m_1. The parameter d refers to the slope of the proliferation rate curve corresponding to the AI cells. The normal androgen level is z_0. The time constant of the androgen dynamic is denoted by τ. The parameters r_1 and r_2 represent the upper and lower thresholds corresponding to the serum PSA level, respectively. The time of the model is denoted by t in the unit of day.

Let $x_1 = x$, $x_2 = y$ and $x_3 = z$, the model equation (1) can be expressed as equation (2):

$$\dot{x}_i = f_i(x) + u_i, \tag{2}$$

for $i = 1, 2, 3$ where

$$\begin{aligned}f_1(x) &= \alpha_x (k_1 + (1-k_1)\frac{x_3}{x_3+k_2})x_1 \\ &\quad - \beta_x (k_3 + (1-k_3)\frac{x_3}{x_3+k_4})x_1 \\ &\quad - m_1(1-\frac{x_3}{x_{30}}), \\ f_2(x) &= \alpha_y (1-\frac{dx_3}{x_{30}}) - \beta_y x_2 \\ &\quad + m_1(1-\frac{x_3}{x_{30}}),\end{aligned}$$

and $f_3(x) = -\frac{1}{\tau} x_3$.

In the fixed-time synergetic control design, some mathematical preliminaries are collected below.

Lemma 1 [29] If $\sigma_1, \sigma_2, ..., \sigma_n$ and q are real with $\sigma_1, \sigma_2, ..., \sigma_n > 0$ and $q > 0$, then

$$\begin{aligned}&(\sigma_1 + \sigma_2 +, ..., + \sigma_n)^q \\ &\le \max(n^{q-1}, 1)(\sigma_1{}^q + \sigma_2{}^q +, ..., + \sigma_n{}^q).\end{aligned} \tag{3}$$

Corollary 2 [30] Consider the dynamical system of state vector $x(t) \in \mathbb{R}^n$ represented by a nonlinear function vector $f : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}^n$ as equation (4):

$$\dot{x}(t) = f(x(t)), \quad x(0) = x_0. \tag{4}$$

If there exists a positive definite function, $V(x): \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$ and $V(x)$ is a regular and radially unbounded function such that the inequality equation (5) is satisfied by any solution of the system equation (4).

$$\dot{V}(x) \le -\alpha V^{\nu} - \beta V^{\mu}, x(t) \in \mathbb{R}^n \setminus \{0\}, \tag{5}$$

where $\alpha, \beta, \nu > 0$ and $\nu > 1$, $0 < \mu < 1$, then the system equation (4) is fixed-time stable at the zero equilibrium, and the bound of the settling time is obtained by

$$T(x_0) \le T_{\max} \triangleq \frac{1}{\beta}\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{1-\mu}{\nu-\mu}}\left(\frac{1}{1-\mu} + \frac{1}{\nu-1}\right) \tag{6}$$

According to [11], the control objective is to determine the prostate cancer treatment so that concentration of AD cells (x_1), AI cells (x_2), and androgen (x_3) concentrations are driven to the corresponding desired levels, x_{1r}, x_{2r}, and x_{3r}. The dynamic errors are defined as equation (7):

$$e_i = x_i - x_{ir} \text{ for } i = 1,2,3. \tag{7}$$

The fixed-time synergetic controller design process can be utilized to determine the treatment for a prostate cancer patient. In accordance with [14, 17, 20, 27, 28], the design procedure is shown below:

1) The macro variables are selected based on the control objective and control inputs as equation (8):

$$\psi_i = e_i + k_{Ii}\int_0^t e_i(\tau)d\tau. \tag{8}$$

For $i = 1, 2, 3$. At $\psi_i = 0$, the dynamic errors, $e_i(t)$, converges to zero for $i = 1, 2, 3$.

2) The dynamic evolution of each macro variable is selected as [31, 32]:

$$\dot{\psi}_i = -a_i\psi_i^{g/h} - b_i\psi_i^{l/m}, \tag{9}$$

where the coefficient a_i and b_i are real numbers and denoted as $a_i > 0$ and $b_i > 0$ for $i = 1, 2, 3$. The exponent terms in, g, h, l, and m, are odd numbers with $1 < g/h < 2$ and $0 < l/m < 1$.

3) The control inputs are determined by solving u_1, u_2, and u_3 from equation (9). Substituting the prostate cancer model equation (2) into equation (9) yields

$$f_i(x) + u_i - \dot{x}_{ir} + k_{Ii}e_i = -a_i\psi_i^{g/h} - b_i\psi_i^{l/m} \tag{10}$$

for $i = 1, 2, 3$. Solving equation (10) gives

$$u_i = a_i\psi_i^{g/h} + b_i\psi_i^{l/m} - f_i + \dot{x}_{ir} - k_{Ii}e_i. \tag{11}$$

The control system stability can be proved below. The Lyapunov function is selected as equation (12):

$$V = 0.5\psi_1^2 + 0.5\psi_2^2 + 0.5\psi_3^2. \tag{12}$$

Derivative of equation)12 (is obtained as

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \psi_1\dot{\psi}_1 + \psi_2\dot{\psi}_2 + \psi_3\dot{\psi}_3 \\ &= \psi_1[\dot{x}_1 - \dot{x}_{1r} + k_{I1}e_1] \\ &\quad + \psi_2[\dot{x}_2 - \dot{x}_{2r} + k_{I2}e_2] \\ &\quad + \psi_3[\dot{x}_3 - \dot{x}_{3r} + k_{I3}e_3] \\ &= \psi_1[f_1(x) + u_1 - \dot{x}_{1r} + k_{I1}e_1] \\ &\quad + \psi_2[f_2(x) + u_2 - \dot{x}_{2r} + k_{I2}e_2] \\ &\quad + \psi_3[f_3(x) + u_3 - \dot{x}_{3r} + k_{I3}e_3].\end{aligned} \tag{13}$$

Substituting u_1, u_2, and u_3 into equation (13) gives

$$\begin{aligned}\dot{V} &= \psi_1[-a_1\psi_1^{g/h} - b_1\psi_1^{l/m}] \\ &\quad + \psi_2[-a_2\psi_2^{g/h} - b_2\psi_2^{l/m}] \\ &\quad + \psi_3[-a_3\psi_3^{g/h} - b_3\psi_3^{l/m}],\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{V} &= -\sum_{i=1}^{3} a_i\left(\psi_i^2\right)^{(g+h)/(2h)} \\ &\quad - \sum_{i=1}^{3} b_i\left(\psi_i^2\right)^{(l+m)/(2m)}.\end{aligned} \tag{14}$$

Based on Lemma 1, equation (14) can be obtained as equation (15):

$$\dot{V} \le -\frac{1}{S_a}[a_1\psi_1{}^2 + a_2\psi_2{}^2 + a_3\psi^3]^{(g+h)/(2h)}$$
$$\frac{1}{S_b}[b_1\psi_1{}^2 + b_2\psi_2{}^2 + b_3\psi_3{}^2]^{(l+m)/(2m)}, \quad (15)$$

wher $S_a = \max(3^{(g+h)/(2h)-1},1)$ and $S_b = \max(3^{(l+m)/(2m)-1},1)$. Then, we manipulated equation (15) as

$$\dot{V} \le -\left(\frac{1}{S_a}a_{\min}2^{\frac{(g+h)}{(2h)}}\right)\left(\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}\psi_i{}^2\right)^{\frac{(g+h)}{(2h)}} -\left(\frac{1}{S_b}b_{\min}2^{\frac{(l+m)}{(2m)}}\right)\left(\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{3}\psi_i{}^2\right)^{\frac{(l+m)}{(2m)}}$$
$$\dot{V} \le -\left(\frac{1}{S_a}a_{\min}2^{\frac{(g+h)}{(2h)}}\right)V^{\frac{(g+h)}{(2h)}} -\left(\frac{1}{S_b}b_{\min}2^{\frac{(l+m)}{(2m)}}\right)V^{\frac{(l+m)}{(2m)}}. \quad (16)$$

According to Corollary 2 and equation (16), the controlled prostate cancer treatment system satisfies the fixed-time stability condition in (5). Thus, the bound of the settling time of the control system is defined by equation (17):

$$T(\psi_0) \le \frac{1}{\beta}\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\frac{1-\mu}{\nu-\mu}}\left(\frac{1}{1-\mu}+\frac{1}{\nu-1}\right), \quad (17)$$

where $\alpha = \frac{a_{\min}2^{\nu}}{\max(3^{\nu-1},1)}$, $\beta = \frac{b_{\min}2^{\mu}}{\max(3^{\mu-1},1)}$, $\nu = \frac{(g+h)}{(2h)}$, and $\mu = \frac{(l+m)}{(2m)}$.

3. Results and Discussion

The prostate cancer system presented by Dubey and Chakraborty [11] was used as a simulation example. The treatment based on fixed-time synergetic control in equation (11) was applied to the system. The system parameters from [11] and [12] were used for simulation. These parameters are defined as follows : (i) $\alpha_x = 2.04\times10^{-2}\,\text{d}^{-1}$, $\beta_x = 7.60\times10^{-3}\,\text{d}^{-1}$, $\alpha_y = 2.42\times10^{-2}\,\text{d}^{-1}$, and $\beta_y = 1.68\times10^{-2}\,\text{d}^{-1}$, (ii) $k_1 = 0$, $k_2 = 2$, $k_3 = 8$, and $k_4 = 0.5$, (iii) $d = 1$ ($0 \le d \le 1$) , (iv) $m_1 = 5.00\times10^{-5}\,\text{d}^{-1}$,(v) $z_0 = x_{30} = 20.00$ nmoll^{-1}, (vi) 62.50 days, $r_1 = 10.00$ ng ml^{-1} , and $r_0 = 4.00$ ng ml^{-1}. The controller parameters are selected so that the pre-determined bound of the settling time is 120 days. First, we selected the exponent terms as $g = 5$, $h = 3$, $l = 3$, and $m = 5$; and the coefficient α is specified as $\alpha = 5.00\times10^{-3}$. The value of $a_{\min}$ and $b_{\min}$ were calculated from equation (17). Finally, we set as $a_1 = a_2 = a_3 = a_{\min}$ and $b_1 = b_2 = b_3 = b_{\min}$. The value of k_{Ii} for $i = 1, 2, 3$ were selected as $k_{I1} = k_{I2} = k_{I3} = 1.01\times10^{-5}$. The control system was simulated in MATLAB software. The Runge Kutta method was applied for numerical simulation from the initial time $t_0 = 0$ to the final time $t_f = 400$ days. The incremental time used in the numerical integration is 0.01 day. To demonstrate the fixed-time convergence property of the proposed prostate cancer treatment, three different initial conditions were used for simulation: (i) $x(0) = [15.00, 0.10, 12.00]^T$ IC1) from [8, 11]. (ii) $x(0) = [20.00\ 0.50\ 32.00]^T$ (IC2), and (iii) $x(0) = [25.00\ 1.10\ 22.00]^T$ (IC3). The simulation results of the controlled

prostate cancer treatment system under the fixed-time synergetic treatment are shown here. The plots of the state variables of the three initial conditions are in Fig. 1, and the corresponding control inputs are in Fig. 2. The simulation results showed that the fixed-time synergetic control treatment can manipulate all state variables. These variables, including the AD cell population, AI cell population, and androgen concentrations from different initial conditions converge to zero. The macro variables converge to zero within the pre-specified convergence time of 120 days as shown in Fig.3. Also, the convergence times of the state variables corresponding to different initial conditions are not greater than 120 days. Moreover, the control input representing the treatment are free of chattering. Compared to the simulation results presented in [11], our proposed treatment could manipulate the cancer populations and androgen concentration to zero as the treatment presented in [11] did. However, the bound of the settling time could be pre-specified according to the controller parameters independently from the initial condition.

Apparently, the treatment based on the fixed-time synergetic control is useful in practical situation since the bound of the settling time can be pre-specified despite the absence of information about the initial condition. Without the chattering in the control inputs, the treatment is feasible in practical implementation.

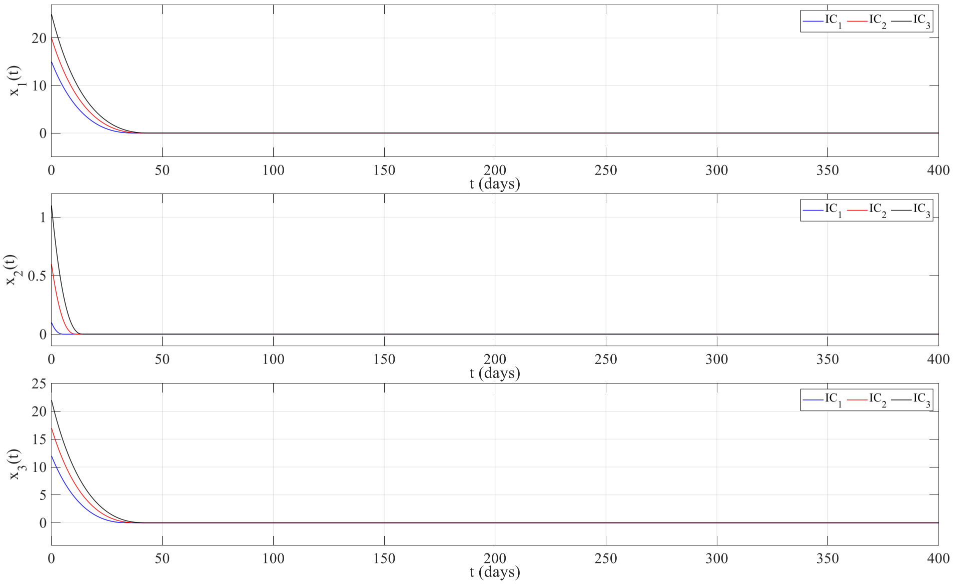


Fig. 1 The time responses of the control prostate system for three different initial conditions.

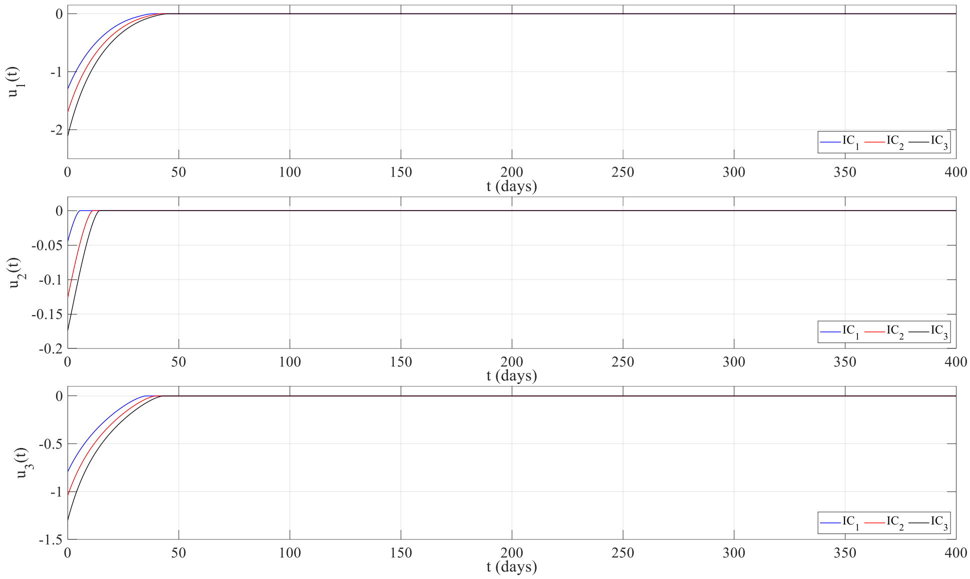


Fig. 2 The control inputs of the control prostate system for three different initial conditions.

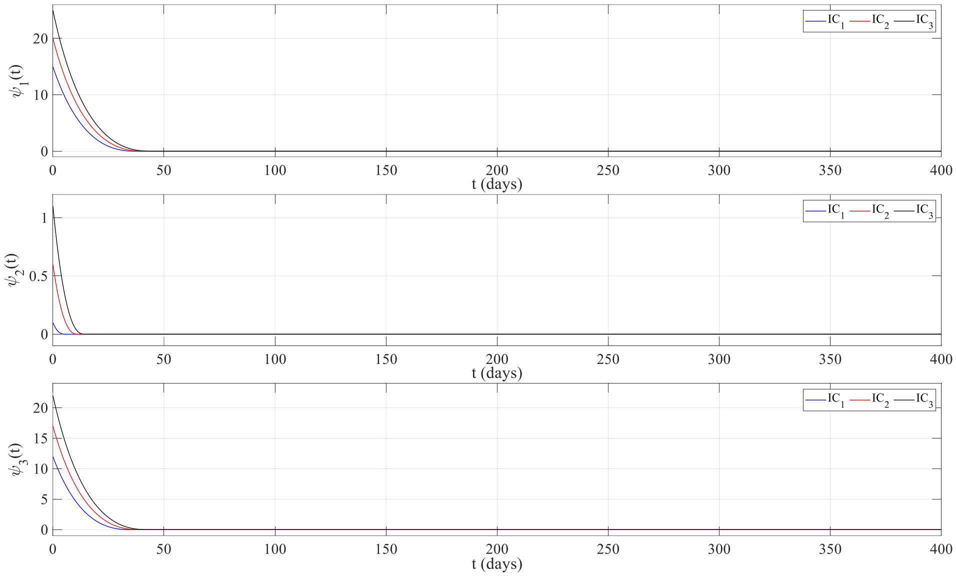


Fig. 3 The plot of the macro variables for three different initial conditions.

4. Conclusion

The fixed-time synergetic control was applied to synthesize the treatment for a prostate cancer patient. The controller design procedure was conducted based on the selected fixed-time dynamic evolution. The proposed control treatment provided the fixed-time stability property for the control prostate system. Simulation results showed that all state variables were driven to the specified value within the pre-defined

bound of settling time of the corresponding macro variables under the chattering free control inputs. Using the fixed-time synergetic control to determine the treatment for a prostate cancer patient is an alternative approach that satisfies two preferable characteristics of the convergence and chattering phenomena. Therefore, the proposed control treatment is suitable in practical situations.

References

[1] World Health Organization. (2018, Sept. 1). "Cancer" [Online]. Available: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cance.

[2] R. W. Ruddon, Cancer Biology, 4th ed., Oxford University Press, New York, USA, 2007.

[3] American Cancer and Society. (2020, Aug. 1). "Cancer Facts & Figures 2020" [Online]. Available: https://www.cancer.org/content/dam/cancer-org/research/cancer-facts-and-statistics/annual-cancer-facts-and-figures/2020/cancer-facts-and-figures-2020.pdf

[4] P. Rawla, "Epidemiology of prostate cancer," *World Journal of Oncology*, vol. 10, no. 2, pp. 63–89, 2019.

[5] R. J. Rebello, C. Oing, K. E. Knudsen, S. Loeb, D. C. Johnson, R. E. Reiter, S. Gillessen, T. Van der Kwast, and R. G. Bristow, "Prostate cancer," *Nature Reviews Disease Primers*, vol. 7, no. 9, pp. 1–27, 2021.

[6] S. W. Leslie, T. L. Soon-Sutton, H. Sajjad, and L. E. Siref, Prostate Cancer, StatPearls Publishing, Treasure Island, Florida, USA, 2021.

[7] M. Perera, M. J. Roberts, L. Klotz, C. S. Higano, N. Papa, S. Sengupta, D. Bolton, and N. Lawrentschuk, " Intermittent versus continuous androgen deprivation therapy for advanced prostate cancer," *Nature Reviews Urology*, vol. 17, pp. 469–481, 2020.

[8] M. Ideta, G. Tanaka, T. Takeuchi, and K. Aihara, "A mathematical model of intermittent androgen suppression for prostate cancer," *Journal of Nonlinear Science*, vol. 18, no. 593, pp. 593–614, 2008.

[9] T. L. Jackson, "A mathematical model of prostate tumor growth and androgen-independent relapse," *AIMS Mathematics*, vol. 4, no. 1, pp. 187–201, 2004.

[10] T. Phan, S. M. Crook, A. H. Bryce, C. C. Maley, E. J. Kostelich, and Y. Kuang, "Mathematical modeling of prostate cancer and clinical application (review)," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 8, pp. 2721, 2020.

[11] P. Dubey and S. Chakraborty, "Avoidance of the relapse condition of prostate cancer using super-twisting sliding mode control," in Proc. *2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, Madurai, India, 12-14 Jun. 2019, pp. 92–97.

[12] G. Tanaka, Y. Hirata, S. L. Goldenberg, N. Bruchovsky, and K. Aihara, "Mathematical modelling of prostate cancer growth and its application to hormone therapy," *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 368, no. 1930, pp. 5029–5044, 2010.

[13] V. Utkin, J. Guldner, and J. Shi, Sliding mode control in electro-mechanical systems, 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2009.

[14] A. Kolesnikov, " Introduction of synergetic control," in Proc. *2014 American Control Conference (ACC)*, Portland, Oregon, USA, 4–6 Jun. 2014, pp. 3013–3016.

[15] A. A. Kolesnikov, Synergetics control theory, Energoatomizdat, Moscow, Russia, 1994.

[16] A. A. Kolesnikov and G. E. Veselov, Modern Applied Control Theory: Synergetic Approach in Control Theory, TSURE Press, Moscow-Taganrog, Russia, 2000, pp. 4477–4479.

[17] E. Santi, A. Monti, D. Li, K. Proddutur, and R. A. Dougal, "Synergetic control for power electronics applications: A comparison with the sliding mode approach," *Journal of Circuits, Systems and Computers*, vol. 1, no. 4, pp. 737–760, 2004.

[18] S. P. Bhat and D. S. Bernstein, "Finite-time stability of continuous autonomous systems," *SIAM Journal on Control and Optimization*, vol. 38, no. 3, pp. 751–766, 2000.
H. M. Becerra, C. R. Vázquez, G. Arechavaleta, and J. Delfin, "Predefined-time convergence control for high-order integrator systems using time base generators," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 26, no. 5, pp. 1866–1873, 2018.

[19] C. -H. Liu and M. -Y. Hsiao, "A finite time synergetic control scheme for robot manipulators," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 64, no. 5, pp. 1163–1169, 2012.

[20] D. Zehar, A. Chérif, K. Benmahammed, and K. Behih, "Fast terminal synergetic control of underactuated system," in Proc. *2018 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, Yasmine Hammamet, Tunisia, 19–22 Mar. 2018, pp. 1184–1189.

[21] A. Kanchanaharuthai and E. Mujjalinvimut, " Adaptive finite-time synergetic control design for power systems with static var compensator," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 16, no. 3, pp. 1007–1020, 2020.

[22] A. Hachana and M. N. Harmas, "Terminal synergetic control for blood glucose regulation in diabetes patients," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 140, no. 10, pp. 100801, 2018.

[23] A. Polyakov, " Nonlinear feedback design for fixed-time stabilization of linear control systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 57, no. 8, pp. 2106–2110, 2012.

[24] J. Wang, L. Liu, C. Liu, and J. Liu, " Fixed-time synergetic control for a seven-dimensional chaotic power system model," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, vol. 29, no. 10, pp. 1–14, 2019.

[25] S. Huang, L. Xiong, J. Wang, P. Li, Z. Wang, and M. Ma, " Fixed-time synergetic controller for stabilization of hydraulic turbine regulating system," *Renewable Energy*, vol. 157, pp. 1233–1242, 2020.

[26] A. Al-Hussein, F. R. Tahir and V. Pham, "Fixed-time synergetic control for chaos suppression in endocrine glucose-insulin regulatory system," *Control Engineering Practice*, vol. 108, no. 104723, pp. 1–10, 2021.

[27] A. Boonyaprapasorn, T. Choopojcharoen, P. Sa-Ngiamsunthorn, S. Kuntanapreeda, E. Pengwang, S. Natsupakpong, W. Wechsatol, and T. Maneewarn, "Fixed-time synergetic approach for biological pest control based on Lotka-Volterra model," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 47303–47319, 2021.

[28] B. Yang and W. Lin, "Homogeneous observers, iterative design, and global stabilization of high-order nonlinear systems by smooth output feedback," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 49, pp. 1069–1080, 2004.
[29] C. Hu, J. Yu, Z. Chen, H. Jiang, and T. Huang, "Fixed-time stability of dynamical systems and fixed-time synchronization of coupled discontinuous neural networks," *Neural Networks*, vol. 89, pp. 74–83, 2017.
[30] Z. Zuo and L. Tie, "Distributed robust finite-time nonlinear consensus protocols for multi-agent systems," *International Journal of Systems Science*, vol. 47, no. 6, pp. 1366–1375, 2016.
[31] Z. Zuo, "Non-singular fixed-time terminal sliding mode control of non-linear systems," *IET Control Theory & Applications*, vol. 9, pp. 545–552, 2015.

Authors' Bioraphy:

Arsit Boonyaprapasorn
He received a B.S. in Mechanical Engineering from King Mongkut's University of Technology (KMUTT), Thailand, in 1998. He continued his postgraduate studies at Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, U.S.A., obtaining an M.S. in Systems and Control Engineering in 2003 and a Ph.D. in Mechanical Engineering in 2009. He is currently an assistant professor at the department of mechanical engineering, academic division, Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok, Thailand. His research interests revolve around nonlinear control and robotics, with specific foci on nonlinear feedback control and its application in biological systems, lab-on-chips, and climbing robots.

Suwat Kuntanapreeda
He received the B. Eng. degree in mechanical engineering from King Mongkut's University of Technology North Bangkok (KMUTNB), Thailand, in 1990, and the M.S. and Ph.D. degrees in mechanical engineering from Utah State University, USA, in 1992 and 1995, respectively. He is currently Professor in mechanical and aerospace engineering at KMUTNB. His research interests include the application of control theory to mechatronic, chaotic, and aerospace systems.

Parinya Sa Ngaimsunthorn
He is an assistant professor at the Department of Mathematics, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand. He obtained B.Sc. and Ph.D. degrees in Mathematics from the University of Sydney, Australia. His research interests are Nonlinear analysis, Partial differential equations, and Dynamical systems.

Kaned Thung-Od
He is a lecturer at the Faculty of Engineering, Mahasarakham University, He graduated with bachelor's in Mechatronics Engineering and a master's in Robotics And Automation from King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand. His research interests are mobile robot designed and control, image processing and sensor integrated systems.

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2565

ชื่อ-นามสกุล		ต้นสังกัด
รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญญารัตน์	สายสิริรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์	รัตนมีชัยสกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กัมปนาท	เทียนน้อย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	สงวนสัตย์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร.พานิช	อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.บุณย์ฤทธิ์	ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพงศ์	ชัยสายัณห์	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท	วรากุลวิทย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย	เอี่ยมพรสิน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัญญา	แดงวิไลลักษณ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์
ดร.อรณิช	เผือกคง	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
ดร.อรทัย	เจริญสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ดร.ภูมิ	จาตุนิตานนท์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ดร.พัฒนาช	พัฒนะศรี	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.นิภาพรรณ	กลั่นเงิน	ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

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

ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

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

การเตรียมต้นฉบับบทความ

บทความหรือผลงานวิจัยที่นำเสนออาจอยู่ในรูปแบบภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ โดยจัดพิมพ์ด้วยโปรแกรมเวิร์ดโปรเซสเซอร์ ภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดว์ สำหรับตาราง แผนภาพและภาพประกอบในส่วนของต้นฉบับจะต้องตามรูปแบบที่กำหนดเพื่อให้พร้อมตีพิมพ์ได้ทันที (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 สอบถามข้อมูลเพิ่มได้ที่ 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

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : Your email address

วันที่รับบทความ: .... / *วันที่แก้ไขบทความ:* .... / *วันที่ตอบรับการตีพิมพ์:* ....

บทคัดย่อ นี่คือต้นแบบสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร 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) ภาค/สาขาวิชา สถาบัน/มหาวิทยาลัย (ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) และที่อยู่/ประเทศ(ใช้ตัวอักษรAngsana New ขนาด 13pt กลางหน้า) จากนั้นระบุ email address ของผู้นิพนธ์ประสานงาน (ใช้ตัวอักษรTimes New Roman ขนาด10pt กลางหน้า) หัวข้อเรื่องแต่ละข้อ (ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด15pt หนาชิดขอบซ้าย) โดยใช้หมายเลขแบบฮินดู อารบิก (1, 2, 3,…) ไม่ใช้แบบเลขโรมัน (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

หัวชื่อข้อย่อยลำดับที่ 1 ใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 13pt ตัวเข้ม ชิดขอบซ้าย

3.1.1 หัวข้อย่อยลำดับที่ 2

หัวชื่อข้อย่อยลำดับที่ 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 “เวปไซต์”
เอกสารอ้างอิง [7] หมายถึง “ปริญญานิพนธ์”
เอกสารอ้างอิง [8] หมายถึง “วิทยานิพนธ์”
เอกสารอ้างอิง [9] หมายถึง “ดุษฎีนิพนธ์”

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-immerse 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/Biodisel

[7] K. Khianjutturut, W. Chaingam, S. Damrong-navavith, 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 inductionm otors,” Ph.D. Dissertations, Univ., Nottingham, 1997.

<u>หมายเหตุ</u> กรณีที่เอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษและใส่คำว่า “(in Thai)” ต่อท้าย

ประวัติผู้ประพันธ์ :

ผู้ประพันธ์ระบุประวัติโดยย่อของตนเอง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับประวัติศึกษาตำแหน่ง สถานที่ทำงาน และงานวิจัยที่สนใจ พร้อมรูปถ่าย 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 two 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 นี่คือต้นแบบสำหรับบทความของคุณเพื่อเสนอพิจารณาตีพิมพ์ในวารสาร SAU JOURNAL OF SCIENCE & TECHNOLOGY จัดพิมพ์ด้วย Microsoft Word for Windowsโดยจัดระยะขอบบน 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. 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, use12 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 andReference

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] stead 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, 8-11Aug. 2009, pp. 105-110.

[5] IEEE Guide for loading mineral-oil-immerse 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/Biodisel

[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 imagesignal processing," Student's Project,Dep. Elec. Eng., Southeast Asia Univ.,2014. (in Thai)

[8] C. Bundanphrai, "A comparison ofelectric power and temperature on three-phase induction motor by varyingwind 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.x2.4 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-สกุลของผู้นิพนธ์ประสานงาน(Corresponding author)……………………..……...……….…..………………

5. สถานที่ติดต่อของผู้นิพนธ์ประสานงาน(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.			

8. การรับรองบทความ

☐ ขอรับรองว่าบทความต้นฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน

ขอรับรองว่าข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นจริงทุกประการ

ลงชื่อ..ผู้นิพนธ์ประสานงาน

( )

วัน............... เดือน........................ พ.ศ. ....

<u>หมายเหตุ</u> ส่งแบบฟอร์มนี้มาร่วมกับบทความตามช่องทางในคำแนะนำสำหรับผู้เขียน (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 มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม 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 (ปร.ด.)

ปริญญาโท
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (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 กรุงเทพ 10160
โทรศัพท์ : 02-8074500 – 27 ต่อ 190,192
WWW.SAU.AC.TH