

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

ISSN 2286-668X

KASEM BUNDIT

Engineering Journal



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2565
Vol.12 No.2 May - August 2022

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม-สิงหาคม 2565

Kasem Bundit Engineering Journal (KBEJ)

Volume 12 No.2 May-August 2022

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

Kasem Bundit Engineering Journal (KBEJ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและพัฒนา ผลงานวิชาการ ตลอดจนองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ของอาจารย์ นักวิชาการอิสระ และวิศวกรทั่วไป และเป็นสื่อกลางระหว่างมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตกับสังคมภายนอกในการเผยแพร่ความรู้ต่างๆ ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้เป็นฐานความรู้จะนำไปสู่การพัฒนาด้านวิศวกรรมต่อไป โดยมีกำหนดตีพิมพ์ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และ กันยายน-ธันวาคม)

วัตถุประสงค์

- เพื่อเป็นเอกสารเผยแพร่ผลงานวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานวิจัยและพัฒนา และผลงานวิชาการของคณาจารย์ทั้งในและนอกสถาบัน ตลอดจนนักวิชาการอิสระและวิศวกรทั่วไป
- เพื่อส่งเสริมและกระตุ้นให้เกิดการวิจัยทั้งภายในและภายนอกสถาบัน ส่งผลให้มีการต่อยอดงานวิจัยและการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความเชื่อมโยงระหว่างวิชาการและวิชาชีพ อันจะเป็นประโยชน์แก่ชุมชนและสังคมโดยรวม
- เพื่อสร้างกลไกสนับสนุนการเผยแพร่รวมถึงระบบการรวบรวมและคัดสรรผลงานวิจัยและงานสร้างสรรค์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในวงวิชาการและวิชาชีพ ซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการประกันคุณภาพการศึกษา

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความที่สามารถตีพิมพ์ลงในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตจะเน้นเป็นบทความวิจัย (Research Article) หรืออาจจะเป็นบทความวิชาการ (Academic Article) ได้ เช่น บทความปริทัศน์ (Review Article) บทความทางเทคนิค (Technical Article) บทความเชิงปฏิบัติในวิชาชีพ (Professional Practice) เป็นต้น หรือในบางครั้งจะเป็นบทความรับเชิญ (Invited Article) หรือบทความอื่นๆ (Other Article) ด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของกองบรรณาธิการ โดยทุกบทความควรมีลักษณะดังนี้

- เป็นบทความวิจัยหรือบทความทางวิชาการ ในลักษณะที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการและวิชาชีพ
- เป็นบทความที่ไม่เคยได้รับการตีพิมพ์มาก่อนทั้งภายในประเทศหรือต่างประเทศ
- เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ในระหว่างการพิจารณาของสื่อสิ่งพิมพ์อื่นๆ
- เป็นบทความที่ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น เนื้อหาในบทความไม่ได้ลอกเลียนหรือคัดลอกมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่นหรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต หรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
- ผู้เขียนได้แก้ไขบทความตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Reviewer) หรือกองบรรณาธิการแล้ว
- บทความในลักษณะอื่นๆ นอกเหนือจากรายละเอียดข้างต้นจะได้รับการพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นกรณีเฉพาะ

การประเมินบทความ

การประเมินบทความที่ดีมีพลังในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตมีรายละเอียดดังนี้

- บทความทุกฉบับจะได้รับการอ่านและตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะในสาขาวิชานั้นๆ จำนวนไม่น้อยกว่า 2 ท่าน ในระบบ Double-blind Review โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนบทความจะถูกปกปิดชื่อระหว่างกระบวนการพิจารณาบทความ
- กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบบทความ ถ้าไม่ผ่านการพิจารณา จะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ เมื่อผู้เขียนดำเนินการแก้ไขบทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ และ/หรือ กองบรรณาธิการแล้ว จากนั้นจึงจะแจ้งให้ทราบกำหนดการตีพิมพ์บทความนั้นต่อไป
- กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิในการตรวจแก้ไขรูปแบบบทความที่ส่งมาตีพิมพ์และอาจจะส่งเรื่องคืนมายังผู้เขียนให้เพิ่มเติมหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี
- การยอมรับการตีพิมพ์หรือปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเป็นสิทธิของกองบรรณาธิการ และกองบรรณาธิการจะไม่รับผิดชอบในเนื้อหาหรือความถูกต้องของบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ทุกเรื่อง ความถูกต้องของเนื้อหา การใช้ภาษาและรูปแบบการเขียนถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน

การส่งบทความ

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์

ต้นฉบับบทความส่งมาที่ E-Mail: engkasemjournal@kbu.ac.th หรือ ผู้เขียนสามารถส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>

หากมีปัญหาในการส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System โปรดติดต่อกองบรรณาธิการ ที่ 02-320-2777 ต่อ 1211

ลิขสิทธิ์

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต ห้ามนำข้อความทั้งหมดไปตีพิมพ์ซ้ำ ยกเว้นได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตแล้ว หากบทความที่ได้รับการตีพิมพ์นั้นเป็นบทความที่ละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นหรือมีความไม่ถูกต้องในเนื้อหาของบทความ ผู้เขียนบทความนั้นต้องเป็นผู้รับผิดชอบ

กำหนดตีพิมพ์

ปีละ 3 ฉบับ ออกเป็นราย 4 เดือน (ประจำเดือนมกราคม-เมษายน พฤษภาคม-สิงหาคม และกันยายน-ธันวาคม)

จัดพิมพ์โดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

คณะที่ปรึกษา:

ดร.วัลลภ สุวรรณดี	อธิการบดี มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.สุวัฒน์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.เสนีย์ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ดร.อริศ สุวรรณดี	รองอธิการบดีฝ่ายทรัพยากรบุคคล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ประสาร มาลากุล ณ อยุธยา	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผศ.อิงอร ตันพันธ์	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

บรรณาธิการ:

รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
------------------------------	--

รองบรรณาธิการ:

ผศ.ดร.ภาวัต ไชยชาวนาทิก	รองคณบดีฝ่ายวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
-------------------------	---

กองบรรณาธิการ:

ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.โจเซฟ เคดาร์	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและ นวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เฉชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Prof. Dr.Belkacem Zeghamati	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme- Groupe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.จิรนุช เสี่ยงมศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.บุญเลิศ สือเจีย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทงจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกร วรากุลศิริพันธ์ุ	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.เวทิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสาพันธ์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
อ.ดร.ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.วศิน มหัตนรินทร์กุล	วิศวกร ที่ปรึกษาโรงงาน อาจารย์พิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ:

รศ.วิญญู แสงสินกสิกิจ	อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ
ผศ.อนุชิต เจริญ	อ.ธีรยุทธ จันทรแจ่ม
ผศ.ดร.หนึ่งฤทัย ทิมย้ายงาม	ผศ.วรกร เกิดทรัพย์
อ.ดร.ประภาส ผ่องสนาม	อ.อุบลรัตน์ วาริชวัฒนะ

ฝ่ายเลขานุการ:

คุณยุพิน ไชยโคตร	คุณรุ่งนภาพร ภูธรราช
------------------	----------------------

บทบรรณาธิการ

ตามที่กองบรรณาธิการ วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิตได้ยื่นขอให้ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) ทำประเมินคุณภาพวารสารในรอบที่ 4 พ.ศ. 2563-2567 ครั้งที่ 3 ซึ่งทาง TCI ได้ทำการแบ่งกลุ่มคุณภาพวารสารในฐานข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย

1) วารสารกลุ่มที่ 1: วารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของ TCI (จนถึง 31 ธันวาคม 2567) และอยู่ในฐานข้อมูล TCI และสามารถส่งข้อมูลเพื่อพิจารณาเข้าสู่ฐานข้อมูล ASEAN Citation Index (ACI) ได้

2) วารสารกลุ่มที่ 2: วารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของ TCI (จนถึง 31 ธันวาคม 2567) และอยู่ในฐานข้อมูล TCI

3) วารสารกลุ่มที่ 3: วารสารที่ไม่ผ่านการรับรองคุณภาพ และอาจไม่ปรากฏอยู่ในฐานข้อมูล TCI ในอนาคต

ทางกองบรรณาธิการฯ มีความยินดีและขอเรียนแจ้งว่า “วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต” ได้ถูกจัดให้เป็น **“วารสารกลุ่มที่ 1”** โดยได้รับรองคุณภาพของวารสาร **“ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2565 ไปจนถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2567”**

อนึ่ง ผลสัมฤทธิ์ในครั้งนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้หากขาดการสนับสนุนจากผลงานที่มีคุณภาพด้านวิชาการและวิจัยจากนักวิชาการ นักวิจัย และผู้เขียนทุกท่าน รวมถึงคณะผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความที่กรุณาสันับสนุนการดำเนินงานของวารสารฯ เป็นอย่างดีเสมอมา ตลอดจนทีมงานกองบรรณาธิการฯ ทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการขอยืนยันว่า กองบรรณาธิการยังคงมุ่งมั่นในการปรับปรุงการดำเนินงาน ตลอดจนพัฒนาและยกระดับคุณภาพด้านวิชาการและวิจัยของวารสารอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถพัฒนาเข้าสู่ฐานข้อมูล ASEAN Citation Index (ACI) และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อนักวิชาการ นักวิจัย ผู้เขียน และผู้อ่านในวงกว้างต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ
บรรณาธิการวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต

บทความวิจัย (Research Article)

การตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยระหว่างสอบออนไลน์ด้วยตัวกรองอนุภาคแบบ
ราวแบล็คเวลไลซ์

DETECTION OF SUSPICIOUS HUMAN BEHAVIOR DURING ONLINE EXAM
WITH RAO-BLACKWELLIZED PARTICLE FILTER

1

นัศพัชฌัน ชินปัญชรณะ และ เตชรัฐสินธุ์ เพี้ยชัย

SIMULATION SYSTEMS OF BEAM DEFLECTION FOR DESIGN MECHANISM
BEAM

22

Gerametha Sungkasem, Kriengsak Junseng, Sunan Saranyanit, Thaweesak
Manchawanont, Kittisak Kanglah and Prompan sangkeaw

การศึกษาคูณภาพของถ้วยใบตอง

A STUDY OF THE QUALITY OF BANANA LEAF CUPS

35

กฤษฎา อ้นอ้าย และ สรวิต สอนสารี

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบน
หลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์

IMPACT ANALYSIS OF A SOLAR ROOFTOP WITH BATTERIES INSTALLED
ON THE ROOF OF AN ORGANIC FERTILIZER PLANT

51

บุญเลิศ สือเฉย สมศักดิ์ สิริไพโรธานนท์ และ อรพิน วรรณราช

การตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยระหว่างสอบออนไลน์ด้วยตัวกรองอนุภาค แบบราวแบล็คเวลไลซ์

DETECTION OF SUSPICIOUS HUMAN BEHAVIOR DURING ONLINE EXAM WITH RAO-BLACKWELLIZED PARTICLE FILTER

นัศพ์ชาณัน ชินปัญชรณะ¹ และ เตจตุสสินปี เพี้ยชัย²

¹อาจารย์, วิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
110/1-4 ถ.ประชาชื่น เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210, nutchanun.cha@dpu.ac.th

²อาจารย์, สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ถ.แจ้งวัฒนะ
เขตปากเกร็ด นนทบุรี 11120, tejtasin@gmail.com

Nutchanun Chinpanthana¹ and Tejtasin Phiasai²

¹Lecturer, College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University,
110/1-4 Prachachuen rd. Laksi, Bangkok 10210, Thailand, nutchanun.cha@dpu.ac.th

²Lecturer, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University,
Chaengwattana rd. Bangpood, Pakkret, Nonthaburi 11120, Thailand, tejtasin@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการจัดการเรียนการสอนรวมทั้งการประเมินผลหลังเรียนจะอยู่ในรูปแบบออนไลน์ การสอบออนไลน์ส่วนใหญ่จะเห็นเพียงใบหน้าของผู้เข้าสอบทำให้ประสิทธิภาพของผู้คุมสอบถูกจำกัด มีงานวิจัยในสาขาคอมพิวเตอร์วิชั่นที่แสดงการตรวจจับรูปแบบพฤติกรรมของการทุจริตแต่ยังคงเป็นปัญหาเนื่องจากรูปแบบของการแสดงออกทางพฤติกรรมมีหลากหลาย รวมทั้งมีนักวิจัยพยายามนำอัลกอริธึมเข้ามาใช้ในการตรวจจับรูปแบบของพฤติกรรมในการสอบ แต่ยังคงมีข้อจำกัดในหลายกรณี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอ การตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยระหว่างสอบออนไลน์ด้วยตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์ โดยใช้การสกัดคุณลักษณะตำแหน่งสำคัญจากเฟรมข้อมูลด้วย OpenPose เพื่อนำมาใช้ในการจำแนกตรวจหาพฤติกรรมต้องสงสัย วิธีการดำเนินงานประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้ (1) การเตรียมข้อมูล (2) การตรวจจับพฤติกรรมด้วยตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์ (3) การวัดประสิทธิภาพและประเมินผลจากการทดลอง จากผลการทดลองสามารถระบุได้ว่า การใช้แบบจำลองตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์เพื่อตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยในการสอบออนไลน์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการจำแนกได้ดียิ่งขึ้นถึงร้อยละ 79.63 ด้วยชุดข้อมูลที่ 2

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, พฤติกรรมมนุษย์, ท่าทางมนุษย์, ตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลล์

ABSTRACT

Online exams have become widely used to evaluate students' performance in recent years. The ability to efficiently proctor is an important limiting for online exams due to the lack of face to face interaction. Prior research in computer vision has shown that online exams are more vulnerable to various cheating behaviors. The problem is challenging due to its various behavior activities in examination or by monitoring them. There are many algorithms attempt to analyze and detect in human behavior activities. But techniques are the limits in various conditions. To overcome this problem, this paper proposes a detection of suspicious human behavior with Rao-blackwellized particle filter. The proposed model extracts the keypoint features in an automated way with OpenPose. This paper presents main three steps including (1) data preprocessing, (2) detect behavior with Roa-blackwellized particle filter, and (3) efficiency measurement and evaluation of experimental results. The experimental results indicate that our framework offers performance improvements. The proposed model can achieve significant improvements for behaviour detection with maximum success rate of 79.63% with data set 2. The experimental results indicate that our proposed approach offers significant performance improvements in the detection of suspicious human behaviour.

KEYWORDS: image processing, human behaviour, human action, rao-blackwellized particle filter

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วอีกทั้งสถานการณ์ได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเรียนรู้มาเป็นออนไลน์มากขึ้นทำให้ผู้สอนต้องประเมินความรู้ของผู้เรียนในรูปแบบข้อสอบและแบบทดสอบที่อยู่บนออนไลน์เช่นกัน ดังนั้นเมื่อผู้เรียนมีการทดสอบผ่านทางออนไลน์ตามเกณฑ์ที่กำหนด สามารถรับใบรับรองหลักสูตรชั้นสุดท้ายได้หรือผ่านรายวิชาในหลักสูตรนั้น ๆ ในขณะเดียวกันโรงเรียนและมหาวิทยาลัยทั่วไปยังขยายหลักสูตรออนไลน์อย่างต่อเนื่อง ทำให้หลักสูตรออนไลน์ กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้น [1] ตัวอย่างเช่น Coursera และ EdX เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการสอบออนไลน์คือวิธีการคุมสอบออนไลน์อย่างไรให้เกิดประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือได้มากที่สุด จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ [2] แสดงให้เห็นว่าการสอบ

ออนไลน์นั้นเสี่ยงต่อพฤติกรรมการทุจริต จากแบบสำรวจมีถึง 74% ของผู้เข้าสอบออนไลน์บอกว่า การสอบออนไลน์ง่ายต่อการทุจริต และ เกือบ 29% ของผู้เข้าสอบออนไลน์ที่ระบุว่าทุจริตในการสอบออนไลน์ เนื่องจากความแตกต่างของการคุมสอบในห้องเรียนที่ผู้คุมสอบสามารถโต้ตอบ และตรวจตราผู้เข้าสอบได้โดยตรง แต่การสอบออนไลน์นั้นไม่สามารถทำได้ ทำให้ต้องมีรูปแบบที่แตกต่างจากการสอบแบบเดิมๆ ด้วยรูปแบบพฤติกรรมการทุจริตแบบต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นในการสอบออนไลน์ [3, 4] เช่น การค้นหาข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต การส่งข้อความไปยังบุคคลที่สาม การส่งข้อความไปทางแชทออนไลน์ หรือการใช้แอปพลิเคชันอื่นในการช่วยทำข้อสอบ ซึ่งทำให้ไม่ง่ายเลยที่จะตรวจจับพฤติกรรมในการทุจริต และเป็นผลให้เกิดการทุจริตได้ง่ายขึ้น ความน่าเชื่อถือของการสอบออนไลน์ลดลง

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการสอบออนไลน์ทำให้มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ Roger [5] ได้ทดลองติดตั้งโปรแกรมคุมสอบที่มีการรักษาความปลอดภัยลงในคอมพิวเตอร์เพื่อสามารถทำงานต่อเนื่องได้ ด้วยการตรวจสอบหน้าจอคอมพิวเตอร์ของผู้เข้าสอบแต่ละคนในมุมมองการควบคุมผู้สอน ในทำนองเดียวกัน Cluskey et al [6] ได้นำเสนอแบบจำลองที่มีส่วนช่วยลดการกระทำทุจริตของผู้เข้าสอบ เช่น จำกัดระยะเวลาของการสอบ, จำกัดเวลาที่จัดสรรในการตอบแต่ละคำถาม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มีข้อจำกัดเนื่องจากต้องการให้ผู้สอบใช้เบราว์เซอร์เพื่อเข้าใช้งาน แอปพลิเคชันสอบอีกทั้งมีความจำเป็นที่ข้อสอบต้องเปลี่ยนคำถามทุกภาคการศึกษาเช่นกัน มีกลุ่มนักวิจัย Bella et al [7] ที่ได้ควบคุมความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูลด้วยการเข้ารหัสผ่าน รวมทั้งการตรวจสอบการใช้งานโปรโตคอล และการถ่ายโอนข้อมูลไปยังบุคคลที่สาม เครื่องมือตรวจจับการลอกเลียน (Plagiarism detection) ได้รับความนิยมในการตรวจสอบเนื้อหา การคัดลอกส่วนโปรแกรม หรือความคล้ายคลึงของการคำนวณที่ไม่ได้รับอนุญาต เทคนิคการตรวจจับการลอกเลียนด้วยเทคนิคการวัดค่าความคล้ายกันของลำดับโทเค็น [8] และการใช้วิธีการสร้างแบบจำลองด้วยการจับคู่คุณลักษณะกราฟ [9, 10] ได้ป้องกันการทุจริตด้วยการตรวจสอบการลอกเลียนด้วยการเปรียบเทียบข้อสอบ โดยที่การวิเคราะห์คือการอ้างอิงจากการใช้โทเค็นและการหาค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่ามีข้อจำกัดในวิธีการ เนื่องจากการตรวจจับการลอกเลียนแบบนั้นขึ้นอยู่กับ การคำนวณเกณฑ์ระดับของความคล้ายคลึงกันในเนื้อหามาตรฐาน ทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้ [11, 12]

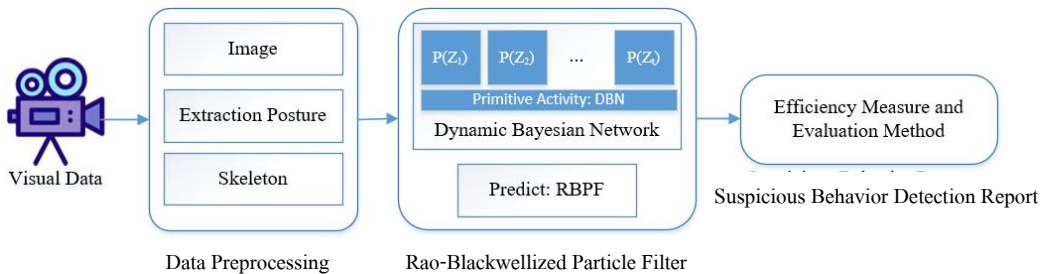
การตรวจจับรูปแบบเคลื่อนไหวของศีรษะของผู้เข้าสอบเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีกลุ่มนักวิจัย [13] ได้นำมาใช้ในการตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยของผู้เข้าสอบจากตัวชี้วัดทางสถิติที่บันทึกได้ระหว่างการสอบ ด้วยการคาดการณ์จากรูปแบบการขยับศีรษะและการวางตำแหน่งของมุมศีรษะ เช่น การหัน เอียง ม้วน หรือดิ่งศีรษะ เป็นต้น Prathish et al [14] และ Narayanan et al [15] ได้ตรวจสอบความผันแปรของมุมเอียง การใช้เสียงและการจับภาพหน้าจอที่ใช้งานอยู่สามารถช่วยเฝ้าติดตามผู้เข้าสอบออนไลน์ได้ และ Wlodarczyk et al [16] ได้นำเสนอวิธีการตรวจจับท่าทางศีรษะร่วมกับ

จุดสังเกตใบหน้าที่จะช่วยในการระบุทิศทางการจ้องมองของผู้ใช้ด้วยเป็นการจดจำใบหน้า ต่อมาในภายหลังมีหลายกลุ่มนักวิจัย Hu et al [17] Ghizlane et al [18-19] และ Garg et al [20] ได้พยายามนำรูปแบบการจดจำใบหน้าเข้ามาติดตามพฤติกรรมของระหว่างการประเมินออนไลน์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามได้มีการพิจารณาแบบอย่างอื่นร่วมด้วย เช่น การสร้างความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องของการกดแป้นพิมพ์ ระบบสามารถเก็บติดตามความเคลื่อนไหวภายในกรอบเวลาของการสอบ และ โครงข่ายประสาทเทียมตรวจสอบใบหน้าของผู้สอบ มีกลุ่มนักวิจัยบางกลุ่มพยายามวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนไหวของเมาส์เพื่อสร้างเป็นแบบจำลอง [21] ด้วยการใช้ความหนาแน่นเวลาในการขยับเมาส์ ความถี่ของการเคลื่อนไหวของเมาส์ และลำดับการเปลี่ยนตำแหน่งของเมาส์เพื่อนำมาใช้ในการตรวจจับกิจกรรมที่ผิดปกติในรูปแบบวิดีโอด้วยวิธีมาร์คอฟ (Markov) ในการติดตามการเคลื่อนที่ แต่จะเกิดปัญหาที่ไม่สามารถระบุรูปแบบทำงานได้เพราะรูปแบบที่ได้เป็นการจำเป็นระยะสั้นเท่านั้น มีคณะนักวิจัยของ Yang et al [22] ใช้ Hierarchical Dirichlet Process สำหรับการตรวจหาพฤติกรรมจากความสัมพันธ์ของกิจกรรมที่ถูกกลืนหายไปของพฤติกรรมผู้เข้าสอบ แต่อย่างไรก็ตามการให้ความหมายของกลุ่มกิจกรรมยังไม่สามารถทำได้ทุกกรณี เนื่องจากบางกิจกรรมมีความซับซ้อนจนเกินไปทำให้ยังคงมีข้อจำกัด สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคเบย์เซียน (Bayesian) เป็นพื้นฐานของการหาค่าความน่าจะเป็นในสภาพแวดล้อมแปรผันตลอดเวลา ร่วมกับท่าทางภาษากาย (body language gestures) [23, 24] ที่สามารถสื่อถึงความหมายทางภาษากาย (sign language) ได้จากรูปแบบการเคลื่อนไหว เพื่อตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยของผู้เข้าสอบในการสอบออนไลน์ด้วยวิธีการทำนายท่าทางจากตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์ (Rao-Blackwellized Particle Filter) [25]

2. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการตรวจจับพฤติกรรมที่ต้องสงสัยทุจริตในการสอบออนไลน์ ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยคือ การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) แบบจำลองตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์ (Rao-Blackwellized Particle Filter) [25] และ รายการตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัย (Suspicious Behavior Detection Report) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยการทดลองได้นำข้อมูลจากฐานข้อมูลวิดีโอในระบบ Online Exam Proctoring (OEP) [26] ที่มีการกำหนดรูปแบบกิจกรรมที่ชัดเจนว่ากิจกรรมใดที่เป็นการส่อทุจริต และกิจกรรมใดที่อนุญาตให้สามารถกระทำได้สำหรับการสอบแบบเรียลไทม์ที่ประกอบด้วยหลายกลุ่มท่าทางรวมเข้ากันเป็นกิจกรรมหลักปกติ หรือท่าทางปกติ (Primitive activity) ในระหว่างการสอบประกอบด้วย กลุ่มท่าทางนิ่ง และขยับสลับเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบท่าทางก้มหน้า เป็นต้น แต่ถ้ากิจกรรมที่ผิดปกติหรือกิจกรรมต้องสงสัย (Suspicious activity) ประกอบด้วย กลุ่มท่าทางนิ่งและขยับสลับเปลี่ยนไปเป็นรูปแบบ

ท่าทางคุ้ยโทรศัพท์ เป็นต้น หรือกิจกรรมที่มีการสนทนากับบุคคลอื่น กิจกรรมที่มีการคุ้ยโทรศัพท์ หรือกิจกรรมที่มีการเดินไปมานอกเหนือจากการนั่งสอบที่โต๊ะ จะถือเป็นกิจกรรมที่ส่อทุจริต



รูปที่ 1 ขั้นตอนการตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยด้วยตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์

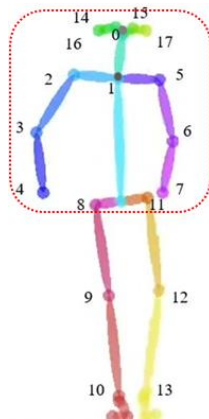
2.1 การสกัดข้อมูลตำแหน่งสำคัญบนโครงร่างกระดูก

การเตรียมข้อมูลภาพเพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมระหว่างการสอบจากท่าทางและรูปแบบการเคลื่อนไหว ด้วยการสกัดข้อมูลตำแหน่งสำคัญบนร่างกาย เพื่อนำมาวิเคราะห์ภาพรวมที่ได้จากท่าทางและความเร็วของการเคลื่อนไหว เป็นทฤษฎีพื้นฐานทางชีววิทยามนุษย์ทางด้านกลศาสตร์ ด้วยการสกัดข้อมูลและตำแหน่งจากการเคลื่อนที่ของร่างกาย (Human action movement) จากแต่ละตำแหน่งบนจุดสำคัญบนร่างกายด้วยมุมมองที่เกิดขึ้น (Movement trajectory) บนโครงร่างจำลองรูปแบบสองมิติที่เรียกว่า โครงร่างกระดูก แสดงถึงตำแหน่งข้อต่อที่เป็นจุดสนใจทั้งหมด 15 จุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง (reference point) ส่วนร่างกายท่อนบน และส่วนร่างกายด้านล่าง ประกอบด้วย ส่วนหัว คอ ไหล่ แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง สะโพก เข่า และ ข้อ ดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับการทดลองนี้ได้นำเพียงส่วนร่างกายท่อนบน (upper body) ประกอบด้วยส่วนหัว (head) คอ (neck) ไหล่ (shoulder) แขนส่วนบน (upper arms) แขนส่วนล่าง (forearms) ข้อ มาทำการวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อต่อสำคัญบนร่างกาย สำหรับข้อมูลภาพในแต่ละเฟรมถูกสกัดด้วย OpenPose [27] ประกอบด้วย จุดเชื่อมต่อบนโครงร่างกายทั้งหมด N จุดที่ถูกสกัดออกมาซึ่งในบางครั้งการสกัดข้อมูลจะมีบางตำแหน่งที่ขาดหายไปในบางเฟรมแต่จะทำการเชื่อมต่อจุดเหล่านั้นเพื่อให้สามารถทำงานได้ด้วย OpenPose และ $\beta_k^i = (x^i, y^i)$, เมื่อ i แทนตำแหน่งของจุดบนโครงร่างกายที่ภาพ k และถ้า OpenPose ไม่สามารถตรวจจับตำแหน่งจุดข้อต่อที่ i ในภาพที่ k จะส่งค่ากลับเป็น $\beta_k^i = \emptyset$, และกำหนดให้ $\beta_k^i = \beta_{k-1}^i$, ถ้า $\beta_k^i = \emptyset$, และ $\beta_k^i \neq \emptyset, k = 1, \dots, k-1$ และ $j^i \leq \bar{j}$ เมื่อ j^i แทนเป็นตำแหน่งข้อต่อที่ i โดยกำหนดให้ $\bar{j}$ มีค่าเป็น 7 และจะแสดงตำแหน่งแต่ละจุดบนโครงร่างกายเฉพาะท่อนบนที่มีทั้งหมด 8 จุด ดังนั้น $\beta^0, \dots, \beta^7$, เมื่อ β^0 เป็นจุดเริ่มต้นในตำแหน่งข้อต่อที่ต้นคอ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ OpenPose ปรึ

ด้วยการทำออร์มอลไลซ์เพื่อพิจารณาความลึกจากตำแหน่งพิกัดข้อต่อที่ถูกเคลื่อนที่ตามความลึกของคอ d_n ในแต่ละภาพ ดังนั้นข้อต่อทั้งหมดจะถูกแทนที่ตามสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$\beta^i \leftarrow (\beta^i - \beta^0)/\tilde{d}_n, \quad (1)$$

เมื่อ $\tilde{d}_n = (x_n, d_n; \theta_n)$, กำหนดให้ $\tilde{d}_n$ แทนค่าประมาณของความลึก และ x_n แทนเวกเตอร์ท่าทาง (augmented pose vector) θ_n แทนค่ามุมระหว่างสองจุดที่เชื่อมต่อกันบนโครงร่างมนุษย์ และ n แทนค่าของตำแหน่งของข้อต่อด้านบน (upper-body joint coordinates) สำหรับการทดลองใช้เฉพาะส่วนร่างกายท่อนบนที่มี 8 ข้อต่อ ประกอบด้วยตำแหน่ง ต้นคอ คอ ไหล่ซ้าย ไหล่ขวา ต้นแขนซ้าย ต้นแขนขวา แขนซ้าย และ แขนขวา ดังแสดงในรูปที่ 2

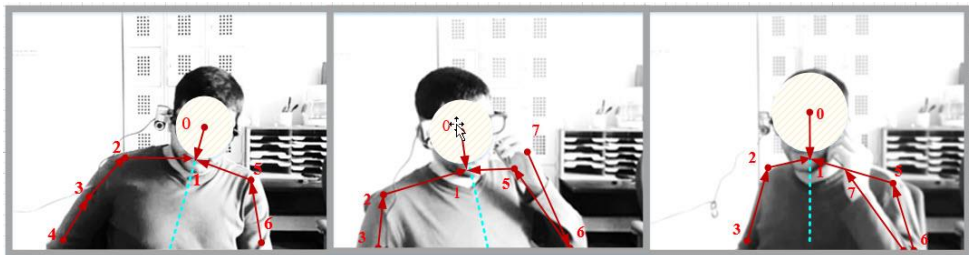


รูปที่ 2 ภาพจำลองโครงร่างกระดูก ตำแหน่งโครงร่างกระดูก OpenPose [23]

2.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมต้องสงสัย

การวิเคราะห์พฤติกรรมต้องสงสัย เกิดจากการตีความหลายๆชุดกิจกรรมที่มีความต่อเนื่องกันตามเวลา จากการเรียนรู้ข้อมูลจำนวนหนึ่งจนสามารถแปลความหมายของชุดกิจกรรมได้ กิจกรรมเหล่านั้นมักมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน เช่น กิจกรรมคุยโทรศัพท์ -> การหยิบโทรศัพท์ขึ้นมา -> การถือโทรศัพท์แนบหู -> การพูดโทรศัพท์ -> การวางโทรศัพท์ รูปแบบความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหวท่าทางเหล่านี้สามารถแสดงถึงความหมายของกิจกรรมต้องสงสัย วิธีการไดนามิกเบย์เซียนเน็ตเวิร์ค (Dynamic Bayesian Network: DBN) [28] เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถคาดหมายความน่าจะเป็นจากเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นด้วยการประมาณค่า โดยจะทำการแทนข้อมูลความสัมพันธ์ด้วย กราฟที่แทนส่วนเวลาในระบบที่มีการจดบันทึกไว้ในรูปแบบของโหนด และค่าของตัวแปร สิ่งที่สามารถแทนความสัมพันธ์ในลักษณะแบบนี้ได้ดีที่สุดคือ การอนุมานแบบ

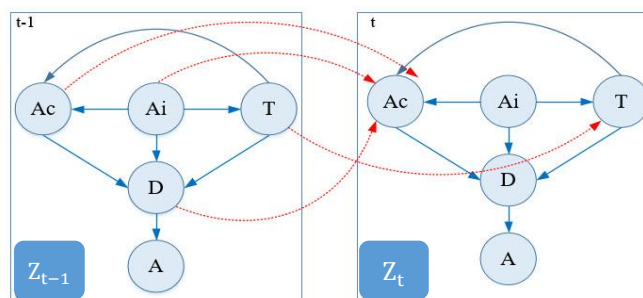
เบย์เซียน (Bayesian Inference) ประกอบด้วย ความสามารถในการให้เหตุผลกับความไม่แน่นอน และทำการประมาณค่าด้วยเบย์เซียนแบบวนซ้ำ การกำหนดโครงสร้างกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ลงในแบบจำลองกิจกรรมเพื่อให้สามารถรู้จำและดำเนินการตรวจสอบได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์ (Rao-Blackwellized Particle Filter: RBPF) [25] ที่มีพื้นฐานจากวิธีการเบย์เซียนเพื่อนำไปประยุกต์ในแบบจำลองการทำนายพฤติกรรมต้องสงสัยในการสอบออนไลน์



รูปที่ 3 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างกระดูกถูกสกัดด้วย OpenPose [27] จากฐานข้อมูลภาพ OEP [26]

2.2.1 ตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์

การจัดกลุ่มกิจกรรมโดยใช้แบบจำลองสถานะ DBN [15] ที่เกิดจากความสัมพันธ์ของท่าทางกิจกรรม ($\beta_0, \beta_{\rightarrow}$) ระหว่างช่วงเวลา (t) โดยที่การเคลื่อนไหวของตำแหน่งข้อต่อสำคัญบนร่างกายถูกสกัดด้วย OpenPose [27] ได้เป็นชุดข้อมูล $\beta^i = \{\beta_0, \dots, \beta_n\}$ เมื่อ $\beta^i = (x^i, y^i)$, แทนตำแหน่งจุดข้อต่อบนโครงร่างกายที่ i ในภาพที่ n และกำหนดให้ β_0 ถูกกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้นกิจกรรม ความน่าจะเป็นของชุดกิจกรรมในแบบจำลอง ท่าทางจากความน่าจะเป็นก่อนหน้านี้เป็น $P(Z_1)$ จากค่าเบย์เซียน เมื่อ กำหนดให้ Z_t เป็นค่าของโหนดกิจกรรมที่เกิดขึ้นในช่วง t ใด ๆ ดังแสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 4 ดังนั้น สามารถกำหนดกิจกรรมที่มีความสัมพันธ์ได้



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของกิจกรรมหลักตามเวลา Z_{t-1} และ Z_t ใน RBPF

$$P(Z_t|Z_{t-1}) = \prod_{i=1}^N P(Z_t^i|p_p(Z_t^i)) \quad (2)$$

เมื่อ $P_p(Z_t^i)$ แทนความน่าจะเป็นในกลุ่มกิจกรรมก่อนหน้าของ Z_t^i ที่เกิดขึ้นในช่วง t ได้ใด กำหนดตัวแปรสังเกตได้ (Observed variable) เป็น $V_t, V_{1:t} \triangleq \{v_1, v_2, \dots, v_t\}$ โดยกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระตามเงื่อนไขของกระบวนการ Z_t และเขียนเป็นสมการได้ $P(V_t|Z_t)$ และกำหนดให้ทุกเซตย่อยมีคุณสมบัติของแต่ละสถานะเป็น $Z_{0:t} \triangleq \{z_1, z_2, \dots, z_t\}$ จะมีความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นร่วมหลังปรับ (Joint posterior probability) เป็น $P(Z_{0:t}|V_{1:t})$ ดังนั้นการประมาณค่าเพื่อทำให้สามารถหาความน่าจะเป็นของ $P(Z_t|V_{1:t})$ สามารถเขียนสมการการแจกแจงได้ดังนี้

$$P(Z_{0:t}|V_{1:t}) = P(Z_{0:t-1}|V_{1:t-1}) \frac{P(V_t|Z_t)P(Z_t|Z_{t-1})}{P(V_t|V_{1:t-1})} \quad (3)$$

ถ้ากำหนดให้การกระจายค่าโดยใช้ชุดค่าน้ำหนัก N จำนวนสามารถเขียนเป็น $\{Z_{1:t}^i, \omega_t^i\}_{i=1}^N$, เมื่อ $Z_{1:t}^i$ แทนค่าที่ i ของตัวอย่าง $P(Z_{1:t})$ และสัมพันธ์กับค่าน้ำหนักของแต่ละ ω_t^i โดยที่

$$\sum_{i=1}^N \omega_t^i = 1 \quad (4)$$

$$\omega_t^i = \prod_{t=1}^T P(V_t|Z_t) \quad (5)$$

สามารถเขียนเป็นสมการแจกแจงการกรอง (Filtering distribution) ได้ดังนี้

$$P(Z_t|V_{1:t}) \approx \sum_{i=1}^N \omega_t^i \delta(Z_t, Z_t^i) \quad (6)$$

โดยทั่วไปแล้ววิธีการแบ่งการกรองออกเป็น ส่วน ๆ หรืออัลกอริทึมตัวกรองอนุภาค (Particle filtering algorithm) จะถูกอ้างอิงในแบบลำดับที่มีการสุ่มตัวอย่างเป็นหลัก แต่สำหรับการแบ่งเป็นส่วน ๆ จะถูกสร้างขึ้นด้วย $\{Z_t^i, \omega_t^i\}_{i=1}^N$ จากการกำหนดค่าน้ำหนักก่อนหน้า โดยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่าง N ครั้งด้วยการแทนที่จากค่า $\{Z_t^i, \omega_{t-1}^i\}_{i=1}^N$, เมื่อแต่ละ Transition เป็น $Z_t^i \sim Q(Z_t^i|Z_{t-1}^i, V_t)$, ปรับค่าน้ำหนักด้วย

$$\omega_t^i = \omega_{t-1}^i \frac{P(V_t|Z_t)P(Z_t|Z_{t-1})}{P(Z_t|Z_{t-1}, V_t)}, \quad (7)$$

เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างใหม่ N ครั้งทำให้กลุ่มย่อยถูกสร้างใหม่เป็น $\{Z_t^i, \omega_t^i\}_{i=1}^N$ ด้วยการประมาณค่าความน่าจะเป็นของค่า $P(Z_t|V_{1:t})$ เมื่อ $P(Z_t^i = Z_t) = \omega_t^i$, ดังนั้นค่าน้ำหนักมีค่าเป็น $\{\omega_t^i = 1/N\}_{i=1}^N$ วิธีการรวมแบล็คเวลโลซซ์จะช่วยลดขนาดของกลุ่มตัวอย่างและเพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองที่มีโครงสร้างจากการวิเคราะห์ตัวแปรและการปรับเงื่อนไขจากตัวแปรอื่น ๆ ดังนั้นทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองกลุ่มตัวอย่าง กำหนดให้เป็นตัวแปร $Z_t, Z_t = \{r_t, z_t\}, r_t = \{Ac, T, Ai\}_t, Z_t = \{D\}_t$

$$P(Z_t|Z_{t-1}) = P(x_t|r_{t-1}, z_{t-1})P(r_t|r_{t-1}) \quad (8)$$

สามารถแจกแจงในรูปแบบความน่าจะเป็น $P(Z_t|V_{1:t})$ เมื่อแต่ละกลุ่มตัวอย่างเป็น $\{r_t, z_t\}_t^i$ ที่มีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนัก ω_t^i โดยที่ $\sum_{i=1}^N \omega_t^i = 1$,

$$P(r_{0:t}, z_{0:t}|V_{1:t}) = P(z_{0:t}|V_{1:t}, r_{0:t})P(r_{0:t}|V_{1:t}) \quad (9)$$

การแจกแจงภายหลัง (Posterior distribution) ของค่า $P(r_{0:t}|V_{1:t})$ สามารถเขียนได้เป็น

$$P(r_{0:t}|V_{1:t}) = \frac{P(V_t|V_{1:t}, r_{0:t})P(r_t|r_{t-1})P(r_{0:t-1}|V_{1:t-1})}{P(Y_t|V_{1:t-1})} \quad (10)$$

2.2.2 การวิเคราะห์กิจกรรมด้วยตัวกรองอนุภาคแบบรวมแบล็คเวลโลซซ์

การกำหนดรูปแบบของกิจกรรม (Activity: A) ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาบนเฟรมเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละกิจกรรมเพื่อนำมาใช้ในการกระจายตัวกรอง (filtering distribution) ในสมการ RBPF กำหนดให้โหนด T แทนกิจกรรมเป้าหมาย (target), โหนด Ac แทนโหนดปัจจุบัน (current activity)ที่กำลังสำรวจกิจกรรม และโหนด Ai แทนกิจกรรมที่ถูกขัดจังหวะ (interrupt activity) โครงสร้างของผลที่ได้จากแบบจำลองคือ D_t ค่ากิจกรรมที่ถูกตรวจจับได้ (desired activity) ของตัวแปรที่ได้จากเงื่อนไขของกลุ่มข้อมูลที่ประกอบด้วย $\{Ac, T, Ai\}_t$ เช่นเดียวกันกิจกรรมที่จะเกิดขึ้นถัดไปจะถูกคำนวณจากเงื่อนไขที่ขึ้นกับกลุ่มของข้อมูลกิจกรรมที่ประกอบด้วย $\{Ac, T, Ai\}_t$ เช่นเดียวกัน แทนค่ากิจกรรมลงในโครงสร้างของ RBPF ประกอบด้วย $r_t = \{Ac, T, Ai\}_t$ และ $Z_t = \{D\}_t$ ดังแสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรมในรูปที่ 4 เมื่อกำหนดให้ RBPF ประกอบด้วย N เป็นจำนวนกลุ่มตัวอย่างข้อมูลแต่ละจุดมีค่าที่สัมพันธ์กับค่าน้ำหนักจะได้สมการดังนี้ $\{r, z\}_{1:t}^i, \omega_t^i\}_{i=1}^N = 1$ และ $P(Z_t|V_{1:t})$ ในแต่ละ $\{r, z\}_{1:t}^i$

$$P(Z_t|V_{1:t}) \approx \sum_{i=1}^N \omega_t^i (\{r, z\}_t, \{r, z\}_t^i) \quad (11)$$

$$P(Z_t|V_{1:t}) \approx \sum_{i=1}^N \omega^i(\{Ac, T, Ai, O\}_t, \{Ac, T, Ai, O\}_t^i) \quad (12)$$

จากสมการที่ (5) ปรับค่าน้ำหนักสำหรับสองกิจกรรม Ac และ T ดังนั้นสามารถแทนความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$\omega_t^i = \omega_{t-1}^i \times P(Z_t^i|V_t) \times \frac{|Ac_t^i|+1}{|T_t^i|+1} \quad (13)$$

เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดข้อผิดพลาดที่ทำให้ค่าน้ำหนักมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ในสมการที่ (10) และมีผลทำให้สมการที่ (12) เช่นเดียวกันอาจจะทำให้เกิดค่าของ $P(A_t^i|\{Ac, T, Ai\}_t^i, A_{1:t-1}^i) \approx 0$ และถ้าค่าของ $1 - P(D_t|A_t)$ เกิดมีค่าเป็นลบ (false positive) ขึ้นมาจะทำการกำหนดค่าน้ำหนักที่ได้เป็น 0.01 โดยจะอธิบายการทำงานของอัลกอริทึม RBPF ดังรูปที่ 5

Algorithm 1 : Rao-Blackwellized particle filter (RBPF)

Input : Ac : current activity

T : target activity

Ai : interrupt activity

ω : weight vector for the feature attributes

N : number of random sample

Resampling: $\{\{Ac, T, Ai\}_0^i, \omega_0^i\}_{i=1}^N$ and ω_1

Output : Predict D_t^i from set activity $\{Ac, T, Ai\}_t^i$

Begin

For $t = 1$ to T do

for $i = 1$ to N do

Sample : $\{Ac, T, Ai, D\}_{t-1}^i$

Transition : $Z_t^i \sim \{Ac, T, Ai\}_{t-1}^i$

If $P(A_t^i|\{Ac, T, Ai\}_t^i) == 0$ && $(Ac_t^k == T_t^k)$

Reset activity

end if

Compute: $P(D_t^i|\{Ac, T, Ai\}_t^i, A_{1:t}^i)$

Predict D_t^i

Calculate ω_t^i Equation (13)

end for

Normalize: ω_t and Resample Z_t

End for

End

รูปที่ 5 อัลกอริทึม Rao-Blackwellized particle filter

3. การวัดประสิทธิภาพการทำงาน

การวัดประสิทธิภาพเพื่อทดสอบวิธีการว่ามีประสิทธิภาพมากหรือน้อย สอดคล้องกับความต้องการเพียงใดเมื่อนำมาใช้งานจริง สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ วิธีการตรวจหาพฤติกรรมที่ต้องสงสัยในการสอบออนไลน์จากรูปแบบของการเคลื่อนไหวด้วยตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์ เพื่อใช้ในการตรวจสอบพฤติกรรมสอบ การสกัดข้อมูลจากภาพวิดีโอ ด้วย OpenPose [22] ร่วมกับข้อมูลจากระบบ Online Exam Proctoring (OEP) [26] เป็นระบบคุมสอบออนไลน์แบบอัตโนมัติที่ควบคุมและดูแลการสอบด้วยการบันทึกวิดีโอลงในระบบฐานข้อมูลแบบเรียลไทม์มีขนาด 640x480 พิกเซลด้วยอัตราความเร็ว 25 เฟรมต่อวินาที เป็นระยะเวลาประมาณ 20-25 นาที รวมทั้งหมด 24 ชุดข้อมูล โดยใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์ในการตรวจจับกล้องและไมโครโฟน ซึ่งข้อมูลของผู้สอบที่ได้รับจากการจัดเก็บข้อมูลบนระบบ OEP ประกอบด้วย ข้อมูลตัวอักษร ข้อมูลเสียง ข้อมูลหน้าจอคอมพิวเตอร์ และ ข้อมูลภาพเคลื่อนไหวระหว่างการสอบ ซึ่งในการทดลองนี้จะนำข้อมูลมาเพียงส่วนเดียว คือข้อมูลของระหว่างการสอบที่ประกอบด้วยท่าทางการเคลื่อนไหวลักษณะต่าง ๆ ข้อมูลตำแหน่งร่างกาย และ ค่าประมาณของความถี่รวม 8 จุด ดังแสดงภาพตัวอย่างในรูปที่ 3 สำหรับการทดลองได้กำหนดรูปแบบพฤติกรรมอ้างอิงตาม Baseline จากการกำหนดรูปแบบมาตรฐานกลุ่มพฤติกรรมสอบจากระบบ OEP ที่แบ่งออกเป็นผู้เข้าสอบแสดงพฤติกรรมทุจริต โดยการสอบถามผู้อื่นระหว่างที่มีการสอบ ผู้เข้าสอบแสดงพฤติกรรมต้องสงสัยด้วยการหยิบจับอุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ ขณะที่มีการสอบ ผู้เข้าสอบมีการเปิดหนังสือเอกสารต่าง ๆ ระหว่างที่สอบ และ ผู้เข้าสอบที่ไม่มีพฤติกรรมเด่นชัดหรือมีท่าทางปกติในการสอบ โดยการบันทึกข้อมูลมีการควบคุมสภาพแวดล้อมเดียวกันทั้งห้องและอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึก ดังนั้นสามารถแบ่งกลุ่มตามกิจกรรมที่มีการตรวจจับได้ 4 กลุ่มดังนี้ (1) พฤติกรรมปกติ (Normal behaviour: normal) และพฤติกรรมต้องสงสัย (Suspicious behaviour) [26] ซึ่งมีรูปแบบสามารถจำแนกพฤติกรรมต้องสงสัยออกเป็นกลุ่มย่อยดังนี้ (2) การพูดคุยกับเพื่อน (talking to the person in the room :Talking) (3) การใช้โทรศัพท์ (using a phone: Phone) และ (4) นำเอกสารต่าง ๆ ขึ้นมา (cheating from a book or notes: Note) ดังแสดงภาพตัวอย่างกิจกรรมในรูปที่ 6 สำหรับการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลไลซ์ (Rao-Blackwellized Particle Filter: RBPF) ด้วย 4 วิธีดังนี้

3.1 ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน

ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machines: SVM) [29] ใช้หลักการของการหาสมบัติของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งสำหรับแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลได้ดีที่สุด กำหนดให้ชุดข้อมูลการเรียนรู้ N ที่มี

ข้อมูลเป็น $\{y_i, x_i\}_{i=1}^m$ เมื่อ $x_i \in R^n$ เป็นรูปแบบข้อมูลเข้าที่ i และ $y_i \in R^n$ เป็นรูปแบบข้อมูลออกที่ i และมีรูปแบบของการจำแนกด้วยวิธีการ SVM ดังสมการ $y(x) = \text{sign}(\sum_{i=1}^m \alpha_i y_i K(x_i, x) + b)$ เมื่อ α_i เป็นค่าบวกคงที่และ b เป็นค่าคงที่จำนวนจริง ข้อมูลที่นำมาใช้ในระบบการสอนให้ระบบเรียนรู้ส่วนใหญ่มักเป็นข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวด้วย Kernel Function มาใช้จำแนกข้อมูลบนระนาบหลายมิติ สามารถเขียนสมการของการลดทอน Cost function ได้ดังนี้

$$\text{minimize}_{w, \xi, b} \{ \|w\|^2 / 2 + C \sum_{i=1}^m \xi_i \} \quad (14)$$

ภายใต้ข้อจำกัดของ $y_i(w \cdot x_i - b) \geq 1 - \xi_i$ และ $\xi_i \geq 0$, สำหรับ $i = \{1, 2, \dots, m\}$ เมื่อ ξ_i เป็นข้อมูลใช้วัดดีกรีการจำแนกข้อมูลที่เกิดผิดพลาดของ x_i และตัวแปรควบคุม C จะควบคุมระหว่างค่าผิดพลาดและค่าสูงสุดของข้อมูลการเรียนรู้ โดยที่ถ้า $C = \infty$ จะนำพาไปยัง Margin

3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ

โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Networks: CNN) [30] เป็นเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron) ประกอบด้วย (1) Convolution Layer: ลำดับชั้นจะทำการกรองข้อมูลแบบ 2 มิติ ระหว่าง ข้อมูล x ตัวกรอง w และ h เป็นข้อมูลภาพอีกชุดที่ถูกสร้างขึ้น และ ให้ CT แทนความสัมพันธ์ของข้อมูลเข้าและออก เมื่อตัวกรองตอบสนองจากข้อมูลเข้าที่เชื่อมต่อกับข้อมูลออกตัวเดียวกันจะถูกเชื่อมต่อกันเขียนเป็นสมการ

$$h_j = \sum_{i, k \in CT_{i, k, j}} (x_i * W_k) \quad (15)$$

(2) Sub-sampling Layer: ลำดับชั้นเพื่อดำเนินการ “Max-Pooling” เป็นการเปลี่ยนแปลงและลดทอนให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วขึ้น (3) Fully-connected Layer: ลำดับชั้นที่รับข้อมูลเข้าเพื่อทำการรวมเข้าเป็นข้อมูลออก แบบ 1 มิติสำหรับลำดับชั้นถัดไป (4) Output Layer: ลำดับชั้นข้อมูลออกที่ถูกจำแนกเพียงคลาสเดียวแบบ 1 มิติจากลำดับชั้น Fully-connected Layer

3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ-ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน

โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ-ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Convolutional Neural Network - Support Vector Machines: CNN-SVM) [29, 30] เป็นการนำสองวิธีการมาผสมรวมกัน สามารถเขียนฟังก์ชันการตัดสินใจและสมการทั่วไปของ SVM เป็น $f(x) = (w \cdot \phi(x) + b)$, เมื่อ

w เป็นเวกเตอร์ของค่าน้ำหนัก, b เป็นค่าอคติ (Bias) และทุกพารามิเตอร์จะเพิ่มค่า 0 แทน Arbitrary Function ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการจำแนกด้วย CNNSVM เพื่อทำการหาค่าเส้นแบ่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูล $f(x)$ ดังนั้นกำหนดให้ข้อมูลการเรียนรู้เป็น $S = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^m$ เมื่อ $x_i \in R^n$ และ $y_i \in \{+1, -1\}$ สำหรับการจำแนกสองกลุ่ม และค่า Cost function มีสมการเป็น

$$\text{minimize}_w \{ \lambda/2 \|w\|^2 + 1/m \sum_{i=1}^m l(x_i, y_i; w) \}, \quad (16)$$

เมื่อ $\lambda \geq 0$, และ $l(x_i, y_i; w) = \max\{0, 1 - y_i f(x_i)\}$. สำหรับเทอม $\max\{0, 1 - y_i f(x_i)\}$ จะถูกแทนด้วย Hinge-loss และกำหนดให้ $f(x_i)$ มีความสัมพันธ์กับ Kernel $K(\dots)$, และกำหนดให้ $\lambda/2 \|w\|^2$ ถูกใช้เป็นตัวตั้งของ Margin เมื่อเทอม $1/m \sum_{i=1}^m l(x_i, y_i; w)$, เป็นค่าต่ำสุดของค่าความคลาดเคลื่อนในการเรียนรู้และให้ ค่า C เป็นพารามิเตอร์ของการจำแนกคลาดเคลื่อน โดยที่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ $\lambda = 1/mC$ โดยทั่วไปแล้วการเรียนรู้ในชุดของข้อมูลของ CNN และ SVM จะต้องทำให้ไปถึงค่าต่ำที่สุด $R(f(x_i), y_i)$

3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) [31] เป็นระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนซ้ำที่มีวิธีการสามารถจดจำข้อมูลได้ในช่วงระยะเวลายาวนานกว่าในรูปแบบอื่น มีระยะเวลาในแต่ละ gate ดังนี้

- 1) Input gate (i) เป็นตัวควบคุมข้อมูลเข้าเพื่อทำการพิจารณาชุดข้อมูล (d_i)

$$i_t = \sigma(\omega_{di} d_t + \omega_{hi} h_{t-1}) \quad (17)$$

กำหนดให้ σ แทน ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoidal function), ω_{di} แทนข้อมูลซ่อน (hidden input) h_t แทน hidden state

- 2) Forget gate (f) เป็นตัวที่อนุญาตให้ LSTM ลืมความจำก่อนหน้า (c_{t-1}) เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับรับข้อมูลใหม่ ด้วยการตัดสินใจจากข้อมูลนำเข้าร่วมกับ hidden state (h_t) ก่อนหน้า

$$f_t = \sigma(\omega_{df} d_t + \omega_{hf} h_{t-1}) \quad (18)$$

- 3) Output gate (o) เป็นตัวที่ทำการตัดสินใจว่าข้อมูลในหน่วยความจำจะถูกส่งไปยัง hidden state (h_t)

$$o_t = \sigma(\omega_{do}d_t + \omega_{ho}h_{t-1}) \quad (19)$$

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \phi(\omega_{dc}d_t + \omega_{hc}h_{t-1}) \quad (20)$$

$$h_t = o_t \odot \phi(c_t) \quad (21)$$

กำหนดให้ σ แทน ฟังก์ชันซิกมอยด์ (sigmoidal function), ϕ แทน ไฮเพอร์โบลิคแทนเจนต์ (hyperbolic tangent), และ c แทน ฟังก์ชันกระตุ้น (activation vector) สำหรับข้อมูลค่านำหนัก ระหว่างข้อมูลนำเข้าหรือข้อมูลซ่อน (hidden input) ถูกแทนด้วย $\omega_{di}, \omega_{hi}, \omega_{df}, \omega_{hf}, \omega_{do}, \omega_{ho}, \omega_{dc}$ และ ω_{hc} ดังนั้นการปรับปรุงค่าระหว่างขั้นตอนการทำงานจะเป็นการรวมข้อมูลจาก ขั้นตอนต่างเพื่อประกอบการพิจารณาในการปรับปรุงค่าของเซลล์ ซึ่งข้อดีของการใช้ LSTM คือ สามารถบอกได้ว่าเมื่อใดจะทำการปรับปรุงเซลล์ อ่านเซลล์หรือเขียนข้อมูลเข้ามาซึ่งตัว gate จะเป็น ตัวควบคุมการไหลของข้อมูล

4. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อตรวจหาพฤติกรรมที่ต้องสงสัยในการสอบจากรูปแบบของการเคลื่อนไหวด้วย ตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลโลซ โดยทำการแบ่งข้อมูลภาพการสอบออนไลน์ในระบบ OEP โดยสุ่มข้อมูลจากระบบ OEP (primary dataset) จากชุดข้อมูลเดิมที่มีการตัดแบ่ง ออกเป็น 3 ช่วง ข้อมูลความยาวสำหรับการทดลอง 10 นาที ดังนั้นข้อมูลเริ่มต้นเป็น 72 ชุดข้อมูล (primitive dataset) และข้อมูลจะถูกทำการจำลองเพื่อเพิ่มปริมาณข้อมูลภาพด้วยการทำ data augmentation [32] ประกอบด้วย การหมุน การตัดบางส่วน การปรับเปลี่ยนความสว่าง เพื่อเพิ่มจำนวนข้อมูลในการทดลองทั้งหมดเป็น 576 ชุดข้อมูล ด้วยการสุ่มข้อมูลสำหรับการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การประเมินประสิทธิภาพด้วยค่าความถูกต้องของแต่ละกลุ่มข้อมูล ประกอบด้วย ค่าความแม่นยำ (False positive rate / Precision: Pre.) เป็นอัตราส่วนของการตรวจพบพฤติกรรมที่ถูกต้องจาก จำนวนท่าทางทั้งหมด, ค่าความระลึก (True positive rate / Recall: Re) เป็นอัตราส่วนของการ ตรวจพบพฤติกรรมที่ถูกต้องจากจำนวนข้อมูลที่ถูกต้องทั้งหมด และ ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure: F1) เป็นการวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความระลึกและค่าความแม่นยำในเชิง ฮาร์โมนิคแสดงผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยความถูกต้องรวม (total average accuracy) ค่า ความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F_1) ด้วยการเปรียบเทียบกับ ดังแสดงใน ตารางที่ 1 และ 2 เป็นชุดข้อมูลการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ วิธี SVM กำหนดค่า Kernel sigmoid กำหนดค่า $\xi = 1$, สำหรับวิธี CNN เป็นเครือข่ายแบบการเรียนรู้เชิงลึก ประกอบด้วย Convolutional layer1 มี 10 kernel ที่มีขนาด 11×11 และ Convolutional layer2 มี 6 kernel ที่มี

ขนาด 5x5 Convolutional layer3 มี 23 kernel ที่มีขนาด 5x5 และในการทดลองจะมีการใช้โครงสร้างของ CNN ร่วมกับ SVM และ LSTM จากตารางผลการทดลองที่ 1 ในชุดข้อมูลที่ 1 ได้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องรวมของการตรวจพบพฤติกรรมต้องสงสัยด้วยวิธีการ SVM, CNN, CNN-SVM, CNN-LSTM และ RBPF มีค่าความถูกต้องเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 50.47% 52.99% 69.43% 72.13% และ 76.98% ตามลำดับ จะเห็นว่าการใช้วิธีการ RBPF มีการจำลองรูปแบบของความสัมพันธ์ทางกิจกรรมตามช่วงเวลาในรูปแบบของค่าการอนุมานเบย์เซียน จึงทำให้มีความถูกต้องที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยระหว่างสอบออนไลน์ ด้วยชุดข้อมูลที่ 1

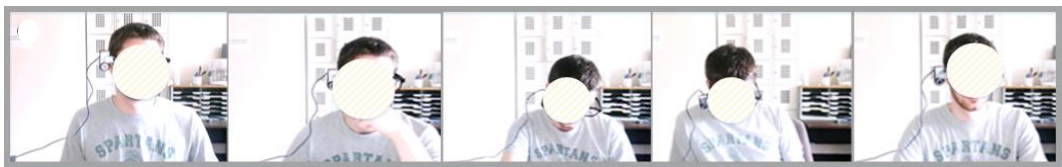
Categories		Performance (%)				Average Accuracy (%)
		Normal	Talking	Phone	Note	
SVM	Pre.	60.22	50.96	44.07	57.89	50.47
	Recall	58.33	56.99	59.09	36.42	
	F ₁	59.26	53.81	50.49	44.72	
CNN	Pre.	50.98	54.78	54.39	68.13	52.99
	Recall	56.52	61.17	63.27	39.24	
	F ₁	53.61	57.80	58.49	49.80	
CNN-SVM	Pre.	75.00	60.58	73.12	72.45	69.43
	Recall	64.08	72.41	65.38	77.17	
	F ₁	69.11	65.97	69.04	74.74	
CNN-LSTM	Pre.	72.45	75.82	71.00	70.87	75.13
	Recall	78.02	75.82	71.72	75.26	
	F ₁	75.13	75.82	71.36	73.00	
RBPF	Pre.	82.29	84.27	75.73	75.96	76.98
	Recall	78.22	71.43	78.00	80.61	
	F ₁	80.20	77.32	76.85	78.22	

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยระหว่างสอบออนไลน์ ด้วยชุดข้อมูลที่ 2

Categories		Performance (%)				Average Accuracy (%)
		Normal	Talking	Phone	Note	
SVM	Pre.	59.14	52.88	44.07	57.89	52.93
	Recall	56.12	56.12	58.43	44.00	
	F ₁	57.59	54.46	50.24	50.00	
CNN	Pre.	47.06	58.26	53.51	58.24	54.27
	Recall	52.17	62.62	62.89	42.06	
	F ₁	49.48	60.36	57.82	48.85	
CNN-SVM	Pre.	73.86	65.38	67.74	64.29	67.62
	Recall	63.73	73.12	69.23	64.95	
	F ₁	68.42	69.04	68.48	64.62	
CNN-LSTM	Pre.	75.51	76.92	73.00	72.82	74.49
	Recall	80.43	70.00	72.28	75.76	
	F ₁	77.89	73.30	72.64	74.26	
RBPF	Pre.	81.72	85.39	78.22	74.29	79.63
	Recall	79.17	73.79	82.29	83.87	
	F ₁	80.42	79.17	80.20	78.79	

จะเห็นว่าการใช้วิธีการ RBPF สามารถตรวจจับพฤติกรรมได้สูงที่สุดโดยเฉพาะ Talking ด้วยค่าความแม่นยำ 84.27% และ ค่าความแม่นยำสำหรับการสอบที่มีท่าทางปกติ Normal อยู่ที่ 82.29% แต่การจำแนกพฤติกรรมด้วย CNN และ SVM ในท่าทางปกติ Normal จะได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ 50.98% และ 60.22% แต่วิธีการ CNN-SVM สามารถจำแนกพฤติกรรม Phone มีค่าความแม่นยำสูงถึง 73.12% แต่ CNN-LSTM ได้ค่าความแม่นยำเพียง 71% และ RBPF สามารถตรวจจับพฤติกรรมได้ค่าความแม่นยำมากถึง 75.73% ดังแสดงภาพเฟรมตัวอย่างการทดลองในรูปที่ 6 จากการทดลองในชุดข้อมูลที่ 2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับพฤติกรรมระหว่างการสอบออนไลน์ สามารถแสดงผลในตารางที่ 2 ได้ค่าเฉลี่ยความถูกต้องรวมของวิธีการ SVM, CNN, CNN-SVM, CNN-LSTM และ RBPF ที่นำเสนอผลปรากฏว่ามีค่าความถูกต้องเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 52.93% 54.27% 67.62% 74.49% และ 79.63% ตามลำดับ สำหรับการเลือกใช้วิธี SVM มีค่าความ

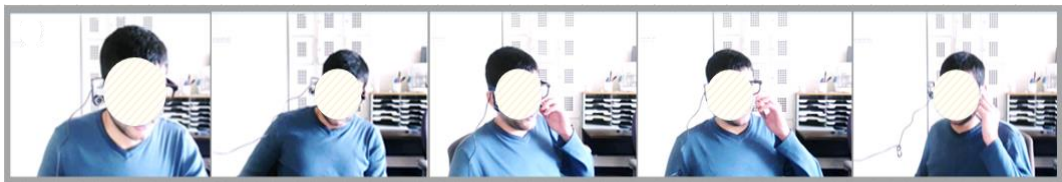
แม่นยำของ Normal. สูงถึง 59.14% แต่ CNN จะได้เพียง 47.06% และ CNN-SVM สามารถจำแนกพฤติกรรม Normal. ได้สูงถึง 73.86% แต่เมื่อใช้วิธี RBPF สามารถบอกพฤติกรรมจากท่าทางกิจกรรมที่มีความสัมพันธ์กันได้ ถึง 81.72% เนื่องจากการตรวจจับเป็นไปตามกิจกรรมลำดับการเคลื่อนไหวของท่าทางตามกิจกรรมที่เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวิธี RBPF สามารถจำแนกท่าทาง Talking ได้ค่าความถูกต้องสูงถึง 85.39% สำหรับชุดข้อมูลในชุดที่ 2 ซึ่งพฤติกรรมจากท่าทางในแต่ละเฟรมสามารถเห็นได้เด่นชัดจากการเคลื่อนไหวตัวของผู้เข้าสอบทำให้ผลที่ได้จากค่าความแม่นยำค่อนข้างสูง ทั้งสองชุดการทดลอง



ก. ตัวอย่างกลุ่มเฟรมท่าทางการสอบปกติ (Normal)



ข. ตัวอย่างกลุ่มเฟรมท่าทางการคุย (Talking)



ค. ตัวอย่างกลุ่มเฟรมท่าทางการคุยโทรศัพท์ (Phone)



ง. ตัวอย่างกลุ่มเฟรมท่าทางการนำเอกสารขึ้นมา (Note)

รูปที่ 6 ตัวอย่างเฟรมการสอบออนไลน์จากฐานข้อมูลภาพ OEP [26]

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองตัวกรองอนุภาคแบบราวแบบลึควอลไลซ์เพื่อตรวจจับพฤติกรรมต้องสงสัยในการสอบออนไลน์ โดยจะแบ่งกลุ่มตามรูปแบบของพฤติกรรมที่ส่วนใหญ่จะ

ตรวจพบในการสอบทั่วไป สำหรับการทดลองนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย พฤติกรรมปกติ และ พฤติกรรมต้องสงสัยที่แบ่งกลุ่มเป็น พฤติกรรมพูดคุยกับเพื่อน พฤติกรรมใช้โทรศัพท์ และ พฤติกรรมนำเอกสารขึ้นมา โดยใช้วิธีการสกัดข้อมูลในตำแหน่งที่สำคัญที่เป็นข้อต่อเฉพาะท่อนบนของร่างกายเพื่อตรวจจับหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนไหวในรูปแบบของความน่าจะเป็นในกลุ่มของกิจกรรมเพื่อทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่กลายเป็นพฤติกรรมในแต่ละกิจกรรมของผู้เข้าสอบ จากผลการทดลองที่ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะเห็นว่าวิธีการจำแนกด้วยการใช้ตัวกรองอนุภาคแบบราวแบล็คเวลล์ไลซ์มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องสูงถึง 79.63% สำหรับการทดลองด้วยชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งรูปแบบการทำงานของอัลกอริธึมจะมีความสัมพันธ์กับท่าทางกิจกรรมจากค่าเบย์เซียนแบบวนซ้ำจึงทำให้มีการทำงานที่แม่นยำมากกว่าวิธีการอื่น แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นการทดลองในห้องที่กำหนดสภาพแวดล้อมและมีการตั้งค่ากล้องที่แน่นอน เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบวิธีการมากที่สุด รวมทั้งยังไม่สามารถตรวจสอบการส่งข้อความหรือการแชร์หน้าจอให้กับผู้อื่นได้ซึ่งเป็นข้อจำกัดของการทดลองนี้ ดังนั้นควรที่จะเพิ่มวิธีการตรวจจับหน้าจอที่ผู้สอบใช้งานอยู่ รวมทั้งการใช้ตัวอย่างข้อมูลการสอบที่หลากหลายและแปรเปลี่ยนสภาพแวดล้อมได้เพื่อความถูกต้องและแม่นยำของการทดลองที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับการทดลองต่อไป

References

- [1] Prince DJ, Fulton RA, Garsombke TW. Comparisons of proctored versus non-proctored testing strategies in graduate distance education curriculum. *Journal of College Teaching & Learning* 2009;6(7):51-62.
- [2] King DL, Case CJ. E-cheating: Incidence and trends among college students. *Issues in Information Systems* 2014;15(1):20-7.
- [3] Ullah A, Xiao H, Barker T. A classification of threats to remote online examinations. In: 2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON); 2016. p.1-7.
- [4] Wei H, Li H, Xia M, Wang Y, Qu H. Predicting student performance in interactive online question pools using mouse interaction features. In: the 10th International Conference on Learning Analytics and Knowledge; 2020. p.645-54.
- [5] Rogers CF. Faculty perceptions about e-cheating during online testing. *Journal of Computing Sciences in Colleges* 2006;22(2):206-12.
- [6] Cluskey GR, Ehlen CR, Raiborn MH. Thwarting online exam cheating without proctor supervision. *Journal of Academic and Business Ethics* 2011;4(1):1-7.

- [7] Bella G, Giustolisi R, Lenzini G, Ryan PYA. A secure exam protocol without trusted parties. In: Proceedings International Conference on ICT Systems Security and Privacy Protection; 2015. p.495-509.
- [8] Mariani L, Micucci D. Audentes: Automatic detection of tentative plagiarism according to a reference solution. ACM Transactions on Computing Education; 2012. p.1-26.
- [9] Chen K, Liu P, Zhang Y. Achieving accuracy and scalability simultaneously in detecting application clones on android markets. In: Proceedings 36th International Conference on Software Engineering; 2014. p.175-86.
- [10] Ullah A, Xiao H, Barker T. A dynamic profile questions approach to mitigate impersonation in online examinations. Journal of Grid Computing 2018;17:209-23.
- [11] Ullah A, Xiao H, Barker T. A classification of threats to remote online examinations. In: Proceedings IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON); 2016. p.1-7.
- [12] Kuhnke F, Ostermann J. Deep head pose estimation using synthetic images and partial adversarial domain adaption for continuous label spaces. In: 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision; 2019. p.10163-72.
- [13] Ruiz N, Chong E, Rehg JM. Fine-grained head pose estimation without keypoints. In: 2018 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops; 2018. p.2074-83.
- [14] Prathish S, Narayanan SA, Bijlani K. An intelligent system for online exam monitoring. In: Proceedings International Conference on Information Science (ICIS); 2016. p.138-43.
- [15] Narayanan A, Kaimal RM, Bijlani K. Yaw estimation using cylindrical and ellipsoidal face models. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 2014;15(5):2308-20.
- [16] Włodarczyk M, Kacperski D, Krotewicz P, Grabowski K. Evaluation of head pose estimation methods for a noncooperative biometric system. In: Proceedings 23rd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES); 2016. p.394-8.
- [17] Hu S, Jia X, Fu Y. Research on abnormal behavior detection of online examination based on image information. In: Proceedings 10th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC); 2018. p.88-91.

- [18] Ghizlane M, Reda FH, Hicham B. A smart card digital identity check model for university services access. In: Proceedings The 2nd International Conference on Networking, Information Systems and Security; 2019. p.1-4.
- [19] Ghizlane M, Hicham B, Reda FH. A new model of automatic and continuous online exam monitoring. In: Proceedings 2019 International Conference on Systems of Collaboration Big Data, Internet of Things Security (SysCoBloTS); 2019. p.1-5.
- [20] Garg K, Verma K, Patidar K, Tejra N, K. Patidar. Convolutional neural network based virtual exam controller. In: Proceedings 4th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS); 2020. p.895-9.
- [21] Xia M, Wei H, Xu M, L YL, Wang Y, Zhang R, et al. Visual analytics of student learning behaviors on K-12 mathematics E-learning platforms. Computer Science, Education; 2019. p.1-2.
- [22] Yang T, Chen Y C, Lin YY, Chuang YY. FSA-Net: Learning fine-grained structure aggregation for head pose estimation from a single image. In: 2019 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR); 2019. p.1087-96.
- [23] Wan J, Zhao Y, Zhou S, Guyon I, Escalera S, Li SZ. Chalearn looking at people RGB-D isolated and continuous datasets for gesture recognition. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops; 2016. p.56-64.
- [24] Negin F, Rodriguez P, Koperski M, Kerboua A, González J, Bourgeois J, et al. PRAXIS: Towards automatic cognitive assessment using gesture recognition. Expert Systems with Applications 2018;106:21-35.
- [25] Doucet A, Freitas N, Murphy K, Russell S. Rao–Blackwellised particle filtering for dynamic Bayesian networks. In: Proceedings of the Sixteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence; 2000. p.176-83.
- [26] Atoum Y, Chen L, Liu AX, Hsu SDH, Liu X. Automated online exam proctoring. IEEE Transactions on Multimedia 2017;19(7):1609-24.
- [27] Cao Z, Hidalgo G, Simon T, Wei SE, Sheik Y. OpenPose: realtime multi-person 2D pose estimation using Part Affinity Fields. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 2018;43(1):172-186.
- [28] Murphy KP. Dynamic Bayesian networks: representation, inference and learning [Ph.D. thesis in Computer Science]. Berkeley, CA, USA: University of California, Berkeley; 2002.

- [29] Bishop CM. Pattern recognition and machine learning. New York, USA: Springer; 2006.
- [30] Simonyan K., Zisserman A. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. In: International Conference on Learning Representations;2015.
- [31] Donahue J, Hendricks LA, Sergio G, Marcus R, Subhashini V, Kate S, et al. Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description. Computer Vision and Pattern Recognition 2014;39(4):677-91.
- [32] Yun S, Oh SJ, Heo B, Han D, Kim J. VideoMix: Rethinking data augmentation for video classification. Computer Vision and Pattern Recognition. 2020. arXiv:2012.03457.

ประวัติผู้เขียนบทความ



นัศพ์ชาณัน ชินปัญช์ธนะ อาจารย์ประจำวิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ งานวิจัยทางด้านการประมวลผลภาพดิจิทัลทางด้านความหมายภาพ งานประมวลผลภาพทางด้านโรงงานอุตสาหกรรมการผลิต การจำแนกภาพดิจิทัล การรู้จำภาพดิจิทัล การประมวลผลภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์ อีเมล nutchanun.cha@dpu.ac.th โทรศัพท์ 0-2954-7300



เดชรัฐสินปี เพี้ยชัย อาจารย์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช งานวิจัยทางด้านโทรคมนาคมไฟฟ้า อิเลคทรอนิกส์ การประมวลด้วยเสียง IoT การประมวลผลแบบ 3D การประมวลผลภาพดิจิทัล การประมวลผลภาพวิดีโอแบบเรียลไทม์ อีเมล tejtasin@gmail.com

Article History:

Received: March 7, 2022

Revised: August 22, 2022

Accepted: August 24, 2022

SIMULATION SYSTEMS OF BEAM DEFLECTION FOR DESIGN MECHANISM BEAM

Gerametha Sungkasem¹, Kriengsak Junseng², Sunan Saranyanit³,

Thaweesak Manchawanont⁴, Kittisak Kanglah⁵ and Prompan sangkeaw⁶

^{1,2,3,4,5,6}Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Kasem Bundit University, 60 Romklao Rd., Min buri, Bangkok, Thailand 10510,

¹gerametha.sun@kbu.ac.th, ²kriengsakj@hotmail.com, ³sunan.sar@kbu.ac.th,

⁴thaweesak.mun@kbu.ac.th, ⁵daris.darus@gmail.com, ⁶prom_sang@yahoo.com

ABSTRACT

Beam Deflection System is a part of theory's mechanics which is necessarily to study in design for mechanics beam in mechanical engineering. It can be applied for many designs such as cable bridges, frames, and machines. The problems for calculation could be complicated and many methods are involved (only superposition method was selected). The functional using in the software will be receiving the several conditions from toolbox those are 1) Ability is designing by choosing cross-sectional area types Shaft - Beam, I – Beam, and Square-Beam 2) Ability is designing of the beam for the difference type of load action are point load, distributed load and moment Load 3) The alternative options will be provide by choosing simple support or cantilever beams. Finally, the conclusion of the software has two parts 1) Show result by Shear Force Diagram (S.F.D), Bending Moment Diagram (B.M.D) and deflection 2) Show answer of S.F.D, B.M.D and deflection. The results of a software which compared to the calculation is very similar.

KEYWORDS: Beam Deflection, Shear Force Diagram, Bending Moment Diagram

1. Introduction

Beam Deflection Systems is usefully developed for study in the area of calculated mechanism beam. Which is used for design the structure & link of robotics, frames & machines and analysis effective of deflection for analyzed the maximum deflection length of the structure in machine and robotics. Which are able to take the load without any cause of

serious damage. Which is can use for analysis the Shear Force Diagram (S.F.D) of structure and beam, as well as helps to analyzed the Bending Moment Diagram (B.M.D) in the area of mechanical engineering, which are designed able to against the action of the impact. The calculated method has four different ways there are: 1) Double Integration Method 2) Area Moment Method 3) The Conjugate Beam Method and 4) Method of Superposition, which can developed as a computer program for reducing the difficulty of calculating manually action force such as point load, distributed and moment and moment of inertia choose a cross section area of three different types of beams. There are, Shaft - Beam, I – Beam and Square-Beam and the program will be transferring the data to the modulus of elasticity database. The modulus of elasticity database will perfectly store the complete type of all materials. Moreover, it's can report all the information, which has been analysis and report in the form of graph and charts which easy to understand such as Bending Moment Diagram and Shear Force Diagram. Its can reported as a chart and diagram accurately, which good for the research who is starting to work on the information mechanical engineering or mechanics of solid and the engineer, who lack of experience.

2. Approach and methods

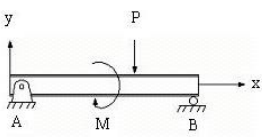
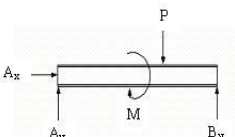
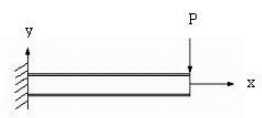
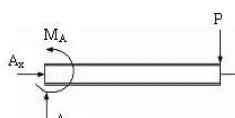
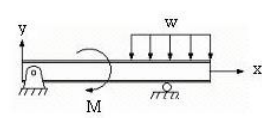
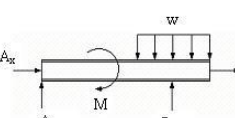
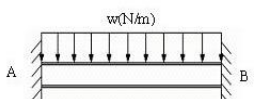
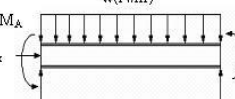
The major parts of the beam design process consist of: Types of beam, Types of load and moment of inertia.

2.1 Types of beam

Type of beam that use for designing the mechanics & mechatronics Engineering includes consists of four types there are:

- 1) Simple supported beam is an ending part that use to supported as hinge which has reaction at $x-y$ direction and roller that has reaction at y direction as shown in 1.1 Table 1.
- 2) Cantilevered beam is an ending part of a beam that one side is fixed and the other side is set free which has an several types of reaction as shown in 1.2 Table 1.
- 3) Simple beam with overhang as similar as the simple supported beam on the other hand, roller supported does not place at the end of the beam, as shown in 1.3 Table 1.
- 4) Fixed beam is a part of the beam that is fixed at both side which cause the one – force and one moment y direction. Types of the four beams are shown in 1.4 Table 1.

Table 1 Types of beams and free body diagrams

Types of beam	Beam and forces vector	Free body diagram (F.B.D)
1.1 Simple Supported Beam [1]		
1.2 Cantilevered Beam [1]		
1.3 Simple Beam with Overhang [1]		
1.4 Fixed Beam [1]		

2.2 Types of load

Types of load or weight which has an action on the beam can be translated into four types there are:

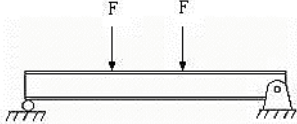
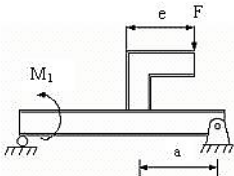
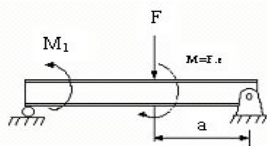
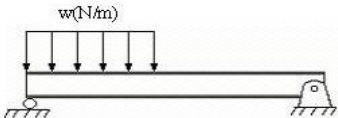
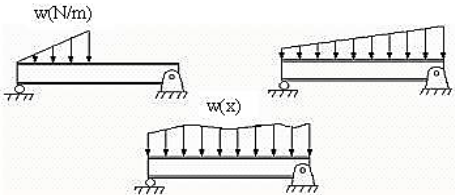
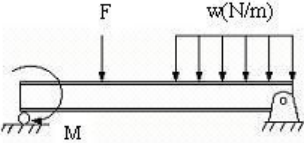
1) Point load is a force that has an action to a particular point or a specific area as shown in 2.1 Table 2.

2) Couple or moment is the moment or couple which attempt to rotate the beam as shown in 2.2 Table 2.

3) Distributed load is an action force that has an impact on the upper beam-distributed load which has an impact through the whole length or one particular part of the beam, there are two types : 1) Uniformly distribute load, which is an action force that has a very stable of the impact. 2) Non - uniformly distributed load is an action force that has the number of impact that is not really stable, depends on the equation of those action force as shown in 2.3 Table 2.

4) Combine Load is a beam that can handle many kinds of the action force types of four load as shown in 2.4 Table 2.

Table 2 Types of load

Types of load	Beam and Forces Vector
2.1 Point Load [2]	
2.2 Couple or Moment [2]	Action Forces 
	Free Body Diagram 
2.3 Distributed Load [2]	Uniformly Distributed Load 
	 Non-Uniformly Distributed Load
2.4 Combine Load [2]	

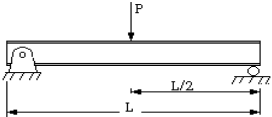
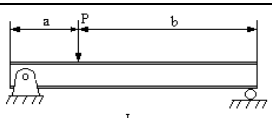
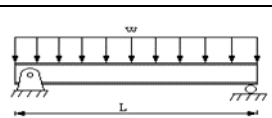
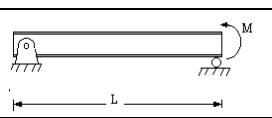
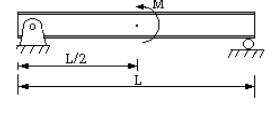
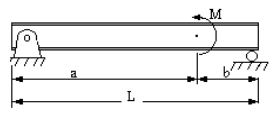
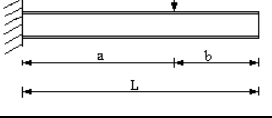
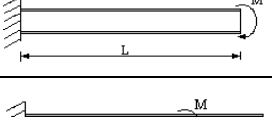
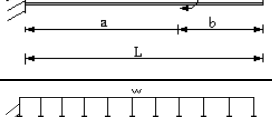
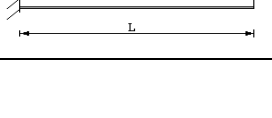
2.3 Calculating deflection of beam by Method of Superposition

The methods of calculating the value of the beam deflection has four different ways there are 1) Double Integration Method 2) Area Moment Method 3) The Conjugate Beam Method 4) Method of Superposition. The Method of Superposition takes the result of the equation from the Double Integration Method or Area Moment Method and use them for the beam which received the weight of each methods and then use the computer program to calculate the complicated equations as shown in the table of Method of Superposition by boundary condition of each types of the beam as shown in Table 4.

Table 3 List of symbols

No.	symbols	Quantity	SI Unit
1	P	Action force	N
2	W	Distribute load	N/m
3	M	Moment or Couple	N.m
4	$M_{\max}$	Maximum moment	N.m
5	V	Shear force	N
6	M_A, M_B	Moment or Couple at point A, B	N.m
7	E	Modulus of elasticity	GPa
8	I	Moment of inertia	m ⁴
9	A_x, A_y	Reaction force at point A direction x - direction, y - direction	N
10	B_x, B_y	Reaction Force at point B direction x - direction, y - direction	N
11	y	Deflection	m
12	$y_{\max}$	Maximum deflection	m
13	x	Distance of load	m

Table 4 Formula Method of Superposition [3]

Case	BEAM	V	M	Y
1		$\frac{P}{2} \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ $-\left(\frac{P}{2}\right) \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L$	$\frac{Px}{2} \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ $\frac{P(L-x)}{2} \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L$	$-\frac{(Px)(3L^2 - 4x^2)}{48EI}$ $-\frac{(Px_1)(3L^2 - 4x_1^2)}{48EI}; x_1 = L - x$
2		$\frac{Pb}{L} \quad 0 \leq x \leq a$ $-\left(\frac{Pa}{L}\right) \quad a \leq x \leq L$	$\frac{Pba}{L}; x = a$ $\frac{Pa(L-b)}{L}; x = b$	$-\left(\frac{Pax(L^2 - x_1^2 - b^2)}{6LEI}\right)$ $-\left(\frac{Pb}{6LEI}\left(\frac{L}{b}(x-a)^3 + (L^2 - b^2)x - x^3\right)\right)$
3		$p\left(\frac{L}{2} - x\right)$ $0 \leq x \leq L$	$\frac{wLx}{4} \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ $\frac{wL}{4}(L-x) \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L$	$-\left(\frac{wx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3)\right)$ $\left(\frac{wLx_1}{24EI}(L^3 - 2Lx_1^2 + x_1^3)\right); x_1 = L - x$
4		$\frac{M}{L} \quad 0 \leq x \leq L$	$\frac{M}{L}(L-x) \quad 0 \leq x \leq L$	$-\left(\frac{Mx}{6LEI}(2L^2 - 3Lx + x^2)\right)$
5		$\frac{M}{L}$	$\frac{Mx}{L} \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ $\frac{M}{L}(L-x) \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L$	$-\left(\frac{Mx}{24LEI}(L^2 - 4x^2)\right) \quad 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ $\left(\frac{Mx_1}{24LEI}(L^2 - 4x_1^2)\right) \quad \frac{L}{2} \leq x \leq L$
6		$\frac{M}{L} \quad 0 \leq x \leq L$	$\frac{Ma}{L} \quad (x = a)$ $\frac{M}{L}(b-L) \quad (x = b)$	$-\left(\frac{Mx}{6LEI}(6aL - 3a^2 - 2L^2 - x^2)\right)$ $\left(\frac{Mx_1}{6LEI}(6bL - 3b^2 - 2L^2 - x_1^2)\right) \quad x_1 = L - x$
7		$+P$	$-(P(L-x))$	$\left(\frac{Px^2}{6EI}(3L-x)\right)$
8		$+P$ 0	$-(P(a-x))$	$-\left(\frac{Px^2}{6EI}(3a-x)\right)$ $-\left(\frac{Pa^2}{6EI}(3x-a)\right)$
9		0	$-M$	$-\left(\frac{Mx^2}{2EI}\right)$
10		0 0	$-M$	$-\left(\frac{Mx^2}{2EI}\right) \quad 0 \leq x \leq a$ $-\left(\frac{Ma^2}{2EI}(2x-a)\right) \quad a \leq x \leq L$
11		$+(W(L-x))$	$-\left(w\left(\frac{L^2}{2} - Lx + \frac{x^2}{2}\right)\right)$	$-\left(\frac{wx^2}{24EI}(6L^2 - 4Lx + x^2)\right)$

3. Results and discussion

As the results of this research, which compare the data between the value that is calculated by the computer program and the values that is calculated by human for the most accurate results as show in the table.

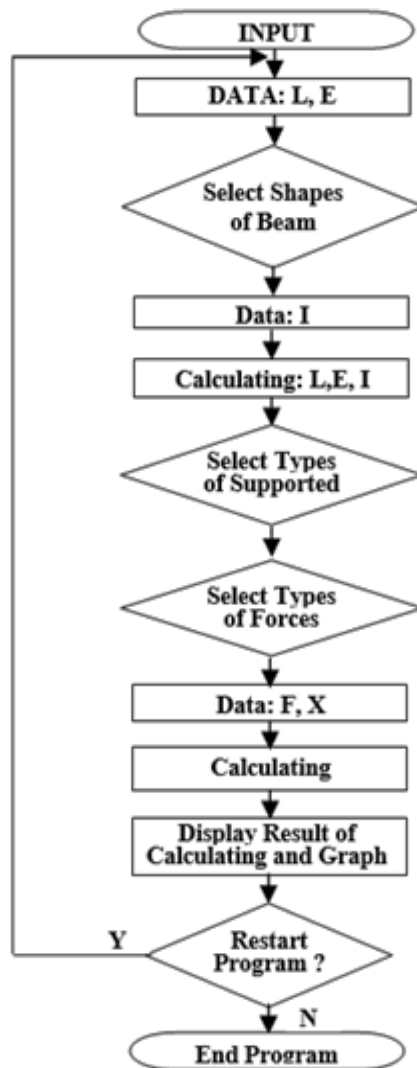


Figure 1 Flowchart of a Beam Deflection program

The Figure 1 Flowchart of a Beam Deflection program shows the sequence of developing the Beam Deflection program begin with, input the value of the initial condition to the program and the let it calculate until the result is generated.

Simple problem of beam is shown in Figure 2. Force is action at a position half beam. Cross section is a square –beam 150 x 300 mm. length 100 m. Material of beam is carbon steel. Calculating moment (M), maximum moment ($M_{\max}$), shear force(V), deflection (y) and Maximum Deflection ($y_{\max}$).

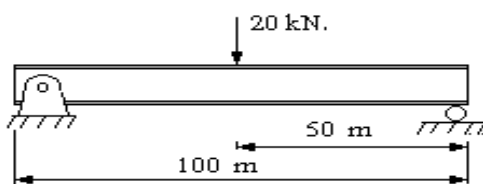


Figure 2 System of Beam in problem

Table 5 Summary of resultant by calculating

x(m)	V(kN)	M(kN.m)	y(m)
0	+ 10	0	0
20	+ 10	200	-3.388
40	+ 10	400	-5.630
60	- 10	400	-5.630
80	- 10	200	-3.388
100	- 10	0	0

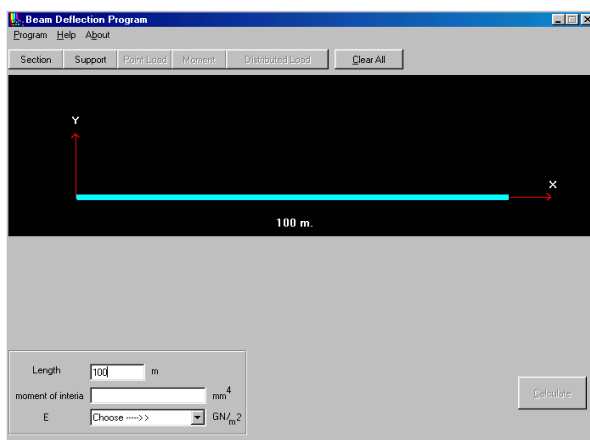


Figure 3 The first page of the calculating Deflection of Beam Program

The Figure 3 shows the page of the program that stated to calculate that length of the beam that has an action force, the variable are length of beam (L), moment of inertia (I) and modulus of elasticity (E).

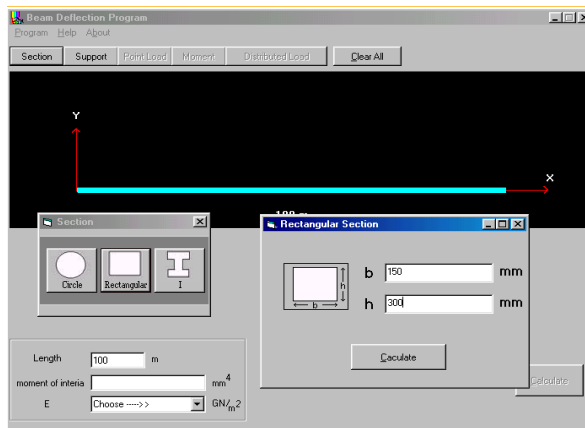


Figure 4 Explains how the values can be placed into the program as a parameter, the variable consists of moment of inertia (I) of rectangular beam

The Figure 4 shows how the value can be placed to the program, the variable are moment of inertia (I) as the section of the object is shaped up as a rectangle and consists of $b = 0.15$ m and $h = 0.3$ m. The program is designed to have several options of the surfaces there are shaft, beam, I – beam and rectangular beam then click at the section.

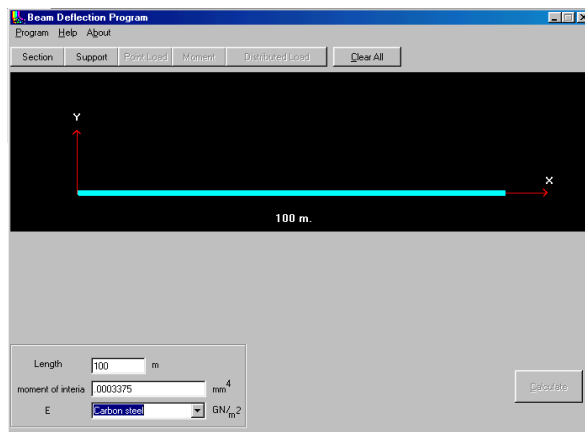


Figure 5 The value of moment of inertia (I) and the value of modulus of elasticity (E) which depends on type of material

The Figure 5 shows the value of moment of inertia (I) and the value of modulus of elasticity (E) which depends on type of material.

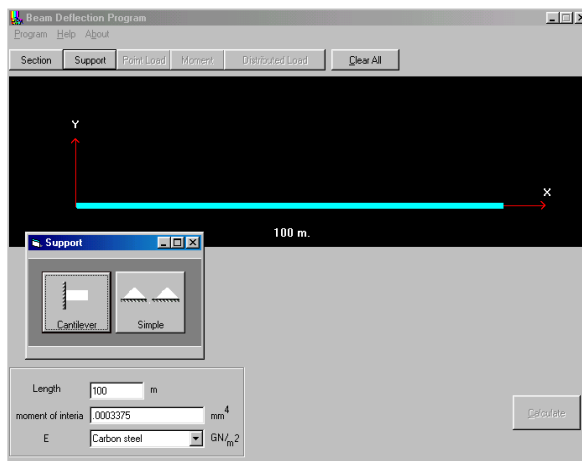


Figure 6 The alternated ways of the supported

The Figure 6 shows the optional points of the supported which can be choose by click at the supported then the program will display the picture of supported which has 2 options there are simple supported beam and cantilevered beam. The question display beam as a simple supported.

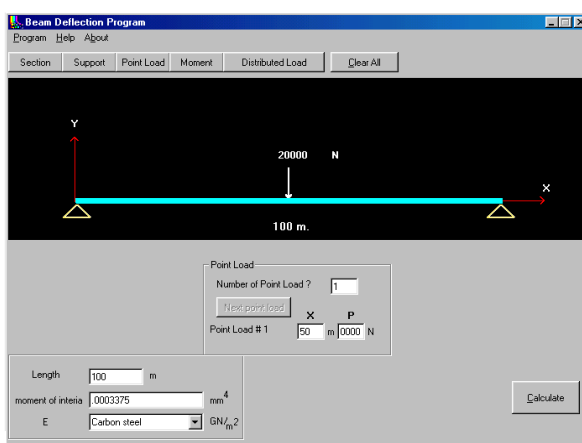


Figure 7 The position of the action force which will be a major impact to the beam

The Figure 7 shows that process of choosing the type of force acting on the beam. The action force can be selected by click at point load, moment or distributed load the location of load can be input to X and the amount of the action at variable P. Since all of the values are placed into the specific variables and the type of force acting fo on the beam is selected then program will ready start to calculate. Click at calculate then program will report the value of the results, as shows in Figure 8.

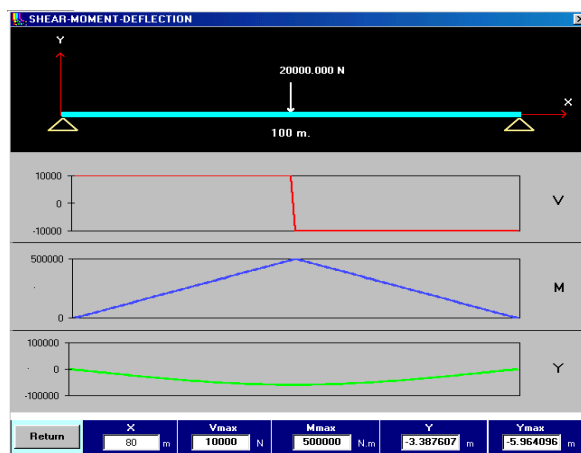


Figure 8 The all of result and graphs of program.

The all results of computation are shown the Figure 8 that consist of Shear Force Diagram (S.F.D), maximum shear force ($V_{\max}$), Bending Moment Diagram (B.M.D), maximum moment of beam ($M_{\max}$), deflection of beam (y) at distance x -direction (x), and maximum deflection of beam ($y_{\max}$).

4. Conclusion

The results of Beam Deflection Program compare to the results which are solved by persons. As shown the outputs of the researches that are a simple supported beams and also tests with many types of beams which followed the values of initial conditions and boundary conditions all together has 11 methods, Method of Superposition shows that the results of all methods have exactly the same value and very accurate, which collected for the students of mechanical engineering and mechatronics engineering in the university by

designing the structure & simulation frame & machine and mechanism link to complete the study and the whole process perfectly.

References

- [1] Beer FP, Jhonston ER. Mechanics of materials. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1992.
- [2] American Institute of Steel Construction (AISC). Manual of Stress Construction. 8th ed. Chicago: American Institute of Steel Construction; 1980.
- [3] Timoshenko SP, Gere JM. Theory of elastic stability. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1961.

Author's Profile



Gerametha Sungkasem received the M.Eng. degree in mechanical engineering from King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Thailand. Currently, he is an Assistance professor at department of mechanical engineering, faculty of engineering, Kasem Bundit University, Thailand. His research interest is drying technologies.



Kriengsak Junseng received the M.Eng. degree in areospace engineering from Kasetsart University. He is currently a lecturer in the department of mechanical engineering, Kasem Bundit University, Thailand. His main research interests include computational fluid dynamics and aircraft maintenance.



Sunan Saranyanit received the M.Eng. degree in mechanical engineering from King Mongkut's Institute of Technology Thonburi Bangkok, Thailand. Currently, he is an Associate professor at department of mechanical engineering, faculty of engineering, Kasem Bundit University, Thailand. His research interest is fluid mechanics



Thaweesak Manchawanont received the M.Eng. degree in mechanical engineering from King Mongkut's Institute of Technology Thonburi Bangkok, Thailand. Currently, he is an Assistance professor at department of mechanical engineering, faculty of engineering, Kasem Bundit University, Thailand. His research interest is fluid machinery



Kittisak Kanglah received the M.Eng. degree in Energy technology from King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok, Thailand. Now he works as lecturer in the department of mechanical engineering, Kasem Bundit University, Thailand. His research interest is drying technologies.



Prompan sangkeaw received the M.Eng. degree in mechanical engineering from Chulalongkorn University, Thailand. Now he works as lecturer in the department of mechanical engineering, Kasem Bundit University, Thailand. His main research interests include aircraft design and CPL training.

Article History:

Received: June 13, 2022

Revised: August 22, 2022

Accepted: August 24, 2022

การศึกษาคุณภาพของถ้วยใบตอง A STUDY OF THE QUALITY OF BANANA LEAF CUPS

กฤษฎา อันอ้าย¹ และ สรวิศ สอนสารี²

^{1,2}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, เลขที่ 156 ถนนเลี้ยวเมืองพิษณุโลก ตำบลพลายชุมพล
อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹Kritsada.O@psru.ac.th, ²sorawitsonsaree@psru.ac.th

Kritsada On-ai¹ and Sorawit Sonsaree²

^{1,2}Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Pibulsongkram Rajaphat University, 156 Bypass Muang Phitsanulok Road, Playchumpol,
Phitsanulok, Phitsanulok 65000, Thailand,

¹Kritsada.O@psru.ac.th, ²sorawitsonsaree@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ้วยใบตองตามหลังการขึ้นรูปโดยใช้ PCM ช่วยในการกระจายความร้อนของแม่พิมพ์ตัวบนและแม่พิมพ์ตัวล่าง ถ้วยใบตองหลังการขึ้นรูปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 cm ลึก 6 cm ใช้ฮีตเตอร์แท่ง 300 W จำนวน 3 แท่งเป็นแหล่งความร้อนและใช้พาราฟินช่วยในการกระจายความร้อนไปยังส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ การอัดขึ้นรูปจะใช้แรงจากคันโยกเพื่อให้ใบตองเกิดการเสียรูป ผลการทดลองการเพิ่มเวลาในการอัดร้อนขึ้นรูปจะช่วยให้ภาชนะมีรูปทรงใกล้เคียงกับแม่พิมพ์ยิ่งขึ้นแต่อาจไม่สมบูรณ์ การเพิ่มจำนวนชั้นของใบตองโดยใช้เส้นใยวางตั้งฉากตามแนวนอนในแต่ละชั้นจะช่วยเพิ่มความทนทานในการใช้งานให้กับภาชนะ แต่อาจไม่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์เนื่องจากต้นทุนมีราคาเพิ่มขึ้นและรูปลักษณะของภาชนะที่หนาเกินไปอาจไม่เหมาะสมกับการใช้งาน และการเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูป จะช่วยใบตองขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ไม่เกิดการฉีกขาดของใบตองทั้งด้านในและด้านนอก และไม่เกิดการคายตัวระหว่างการทดสอบบรรจุน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ช่วยให้ภาชนะมีความทนทาน และคงตัว หลังจากนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะใบตองที่อุณหภูมิ 115 °C จำนวนใบตอง 3 ชั้น และเวลาในการอัด 2 นาที จะทำให้ระยะการคืนทุนน้อยที่สุดคือ 11 เดือน ในอนาคตจะปรับปรุงการใช้ระบบไฮดรอลิกแทนการใช้คันโยกเพื่อให้ได้แรงอัดที่คงที่ และศึกษาสัดส่วนการประสานที่เหมาะสมกับภาชนะ

คำสำคัญ: ถ้วยใบตอง, ลักษณะทางกายภาพ, สารเปลี่ยนสถานะ

ABSTRACT

The aim of this research is the study of physical characteristics of Tani banana leaf cup deforming with PCM does contribute heat to the upper mold and lower mold. Cup's diameter was 11 cm and deep 6 cm. Three heaters each 300 W were heated paraffin which distributed to the mold. The controlling handle forced banana leaf to deform. Results of the experiment to increase the compression time to heat up, the container to be shaped closer to mold, but may not be perfect. Increasing the number of layers of banana leaves by using perpendicular fibers horizontally in each layer increases the durability of the container. Although it may not be suitable for commercial use as the cost increases and the appearance of the container is too thick may not be suitable for use. The increasing the molding temperature It will help forming banana leaves easier, does not Does not cause torn banana leaves both inside and outside and no dehydration occurs during the water filling test which is the main factor that helps the container to be durable and stable. From analyzing the economic value, it was found that the hot extrusion of the banana leaf container at 115 °C, the number of banana leaves in 3 layers and the compression time of 2 minutes, they are minimum payback period is 11 months. In the future, the use of hydraulic systems will be improved instead of levers to achieve stable compression and study the proportion of glue that is suitable for the container.

KEYWORDS: Banana leaf cup, Physical characteristics, Phase change material

1. บทนำ

อุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้นในแต่ละปีส่วนหนึ่งเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความร้อนภายในโลกสูงขึ้น [1] แก๊สเหล่านี้เกิดจากระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่น การเผาขยะ การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน และโรงงานอุตสาหกรรม [2-3] จากการสำรวจปริมาณขยะมูลฝอยในปี พ.ศ. 2563 พบว่ามีขยะทั้งหมด 25.37 ล้านตัน แบ่งเป็นขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ 8.36 ล้านตัน ขยะที่ถูกกำจัดโดยกระบวนการที่ต้อง 9.13 ล้านตัน และไม่ถูกวิธีอีก 7.88 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 33, 36 และ 31 ของปริมาณขยะทั้งหมดตามลำดับ [4] สาเหตุหลักเกิดจากรัฐบาลมีมาตรการลดการตัดต้นไม้พื้นที่เสี่ยงส่งผลให้ประชาชนหันมาใช้บริการส่งอาหารเพิ่มขึ้น อีกทั้งบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เป็นพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single - use

plastics) ส่งผลให้ช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม 2563 มีขยะพลาสติกเพิ่มขึ้น ร้อยละ 15 จากปริมาณปกติ เป็น 6,300 ตันต่อวัน [4] แม้ว่าขยะพลาสติกสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่ต้องอาศัยระยะเวลาหลายร้อยปี ซึ่งกองขยะเหล่านี้จะกลายเป็นแหล่งสะสมแบคทีเรียและก่อให้เกิดเชื้อโรคต่าง ๆ อีกมากมาย ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายและไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดปริมาณขยะและภาวะโลกร้อน ยกตัวอย่างเช่น การใช้วัสดุจากธรรมชาติมาดัดแปลงเป็นภาชนะบรรจุอาหาร [5-6]

ในปัจจุบันภาชนะจากธรรมชาติมีทั้งแปรรูปก่อนนำมาขึ้นรูป เช่น การนำเส้นใยกล้วยมาบดก่อนนำมาอัดร้อนขึ้นรูปเป็นภาชนะรูปทรงต่าง ๆ [7] การใช้ฟางข้าวมาผสมกับพอลิพรอพิลีน [8] และการนำเปลือกทุเรียนมาปั่นและฟอกสารแล้วนำมาขึ้นรูป [9] เป็นต้น กรรมวิธีนี้ต้องใช้สัดส่วนการผสมต่าง ๆ ที่แม่นยำซึ่งอาจมีความซับซ้อนและความชำนาญในกระบวนการแปรรูป อีกหนึ่งวิธีเป็นการขึ้นรูปภาชนะโดยอาศัยรูปลักษณะของวัสดุ เช่น การใช้กากหมากตากแห้งมาผลิตเป็นจาน [10] การใช้เปลือกปาล์มมาอัดร้อนขึ้นรูปจาน [11] การใช้ใบบัวเพื่อผลิตเป็นภาชนะ [12] การใช้ใบตองตากแห้งมาอัดขึ้นรูปเป็นแก้วน้ำ ถ้วย และชาม [10] การใช้ใบตองอัดขึ้นรูปโดยใช้ความร้อนจากฮีตเตอร์และแรงอัดจากเครื่องไฮดรอลิก [13] ใบตองที่นิยมใช้ในประเศมี 2 ชนิด ได้แก่ ใบกล้วยตานี และใบกล้วยน้ำว้า ซึ่งใบกล้วยตานีจะมีความเหนียว ทนทาน ไม่เปราะ ไม่ฉีกขาดง่าย มีสีเขียวเข้ม สามารถนำมาห่อหรือพับได้ จึงมีคุณสมบัติดีกว่าใบกล้วยน้ำว้าที่มีความเหนียวน้อยกว่า และเปราะกว่า ซึ่งนิยมใช้ห่อขนมขนาดเล็ก [14-15] ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ้วยใบตองตานีหลังอัดร้อนขึ้นรูปโดยใช้ PCM ช่วยในการกระจายความร้อนของแม่พิมพ์ตัวบนและแม่พิมพ์ตัวล่าง

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 เครื่องอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะ

กลไกการทำงานของเครื่องอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะใบตองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 cm ลึก 6 cm แบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย 1) ส่วนแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ด้านบนและด้านล่างจะได้รับความร้อนจากแท่งฮีตเตอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm ความยาว 100 mm ขนาด 300 W รวมทั้งสิ้น 3 ตัว โดยใช้สารเปลี่ยนสถานะ (Phase change material: PCM) เป็นตัวกลางในการกระจายความร้อนไปยังส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้พาราฟิน ดังแสดงในรูปที่ 1 2) ส่วนให้ความร้อนกับแม่พิมพ์ ความร้อนถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิ (Rex-c100 50 Hz 220 V ความแม่นยำ $\pm 0.5\%FS$) ซึ่งต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิล Type K (ช่วงวัด $-40^{\circ}C$ ถึง $1,200^{\circ}C$ ความแม่นยำ $\pm 1^{\circ}C$) เพื่อวัดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 105 และ $115^{\circ}C$ ซึ่งเป็นช่วงที่ภาชนะสามารถงอรูปได้ [16] 3) ส่วนการอัด โดยใช้มือกดคันโยกเพื่อให้แม่พิมพ์

ด้านบนประกบกับแม่พิมพ์ด้านล่าง และมีตัวจับเวลาในขณะที่แม่พิมพ์ประกบกัน โดยจะจับเวลาในการอัดที่ระยะเวลา 1 2 และ 3 นาที เพื่อศึกษาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และใช้จำนวนใบตองแห้งในการทดสอบจำนวน 2 3 และ 4 ชั้น โดยใช้ใบตองแต่ละชั้นวางเส้นใบในแนวตั้งฉากกันซึ่งจะช่วยให้แรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น [16] เพื่อศึกษาความทนทานและการคงรูปของภาชนะ ภาชนะทดสอบแสดงในรูปที่ 2

การคำนวณขนาดของฮีตเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ (1) โดยใช้เงื่อนไขการทดลองที่ใช้ระยะเวลาในการอัดขึ้นรูป 1 นาที จำนวนใบตอง 4 ชั้น และอุณหภูมิในการขึ้นรูป 115 °C เนื่องจากเป็นเงื่อนไขที่ต้องใช้กำลังความร้อนสูงที่สุด ใบตองมีความหนาแน่น 200 kg/m³ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ 2,600 J/kg·K [17] โดยกาาประสานจะมีส่วนผสมของน้ำและแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งกาาประสานในแต่ละชั้นจะมีสัดส่วนของน้ำผสมอยู่ประมาณ 5 g

$$Q = n \left[\rho \left(\left(\frac{\pi}{4} d^2 + \frac{\pi}{2} DI \right) t \right) c_p \Delta T \right]_{\text{leaf}} + (n-1) \left[(mc_p \Delta T) + (mL) \right]_{\text{water}} \quad (1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการส่งถ่ายความร้อน (J)

n คือ จำนวนชั้นใบตองที่ใช้

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้นถ้วย (m)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปากถ้วย (m)

I คือ ความสูงเอียงของถ้วย (m)

t คือ ความหนาของถ้วยในแต่ละชั้น (m)

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (J/kg·K)

L คือ ค่าความร้อนแฝงของการระเหยเป็นไอ (J/kg)

ดังนั้น

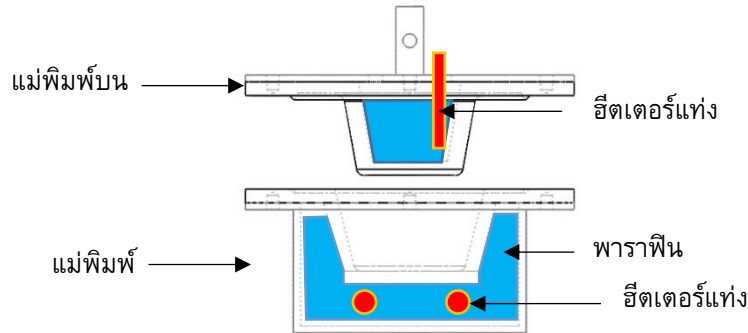
$$Q = 4 \left[200 \left(\left(\frac{\pi}{4} 0.08^2 + \frac{\pi}{2} (0.11 \times 6.18) \right) 0.5 \times 10^{-3} \right) 2,600 \times (115 - 30) \right]_{\text{leaf}} + (4-1) \left[(5 \times 10^{-3} \times 4,187 \times (115 - 30)) + (5 \times 10^{-3} \times 2,257 \times 10^3) \right]_{\text{water}}$$

$$Q = 41,276 \text{ J}$$

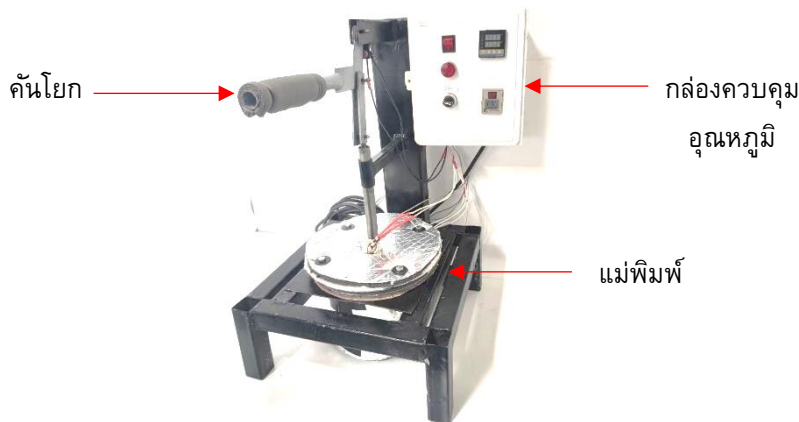
$$Q = 688 \text{ W (เมื่อใช้เวลาในการให้ความร้อน 1 นาที)}$$

2.2 วิธีการทดลอง

การเตรียมใบตองแห้งก่อนนำมาอัดร้อนขึ้นรูป เมื่อได้ใบตองตานี้แล้วให้นำไปผึ่งแดดอย่างน้อย 5 ชั่วโมง เพื่อให้ใบตองแห้งสนิทเพื่อไล่ความชื้นออกจากใบตอง แต่จะทำให้ใบตองเปราะและแตกง่ายจึงไม่สามารถนำมาขึ้นรูปได้ทันที ต้องทิ้งใบตองแห้งไว้ 1 คืน เพื่อให้ใบตองเกิดความชื้นซึ่งจะช่วยให้ใบตองมีความเหนียวและเหมาะกับการนำมาใช้อัดร้อนขึ้นรูป ใบตองแห้งจะถูกนำมาตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวด้านละ 20 cm เพื่อใช้สำหรับขึ้นรูปภาชนะ การทดลองเริ่มจากกำหนดอุณหภูมิของแม่พิมพ์ทั้งสองด้านให้ค่าเท่ากับ 95 °C นำใบตองมาวางซ้อนกันให้แนวเส้นใยตั้งฉากกันโดยใช้กาบแปรงเปียกผสมน้ำในอัตรา 1:1 เป็นตัวผสม นำใบตองวางในเครื่องอัดร้อนขึ้นรูปแล้วกดคันโยกลง ตัวจับเวลาจะเริ่มทำงานเมื่อแม่พิมพ์ทั้งสองประกบกัน หลังจากครบ 1 นาทีนำคันโยกขึ้นแล้วนำภาชนะใบตองออกจากเครื่องอัด ตัดขอบภาชนะให้ได้ขนาดที่ต้องการ ทำการทดลองซ้ำเงื่อนไขเดิมอย่างน้อย 7 ชิ้น หลังการขึ้นรูปต้องตรวจสอบความคงตัวของภาชนะ แล้วจึงแบ่งตัวอย่างไปทดสอบบรรจุน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บไว้ในถุงสุญญากาศเพื่อใช้เป็นตัวอย่างหลังการทดสอบ หลังจากนั้นนำตัวอย่างทั้ง 3 การทดสอบมาเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้น



รูปที่ 1 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป



รูปที่ 2 ชุดทดสอบ

2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

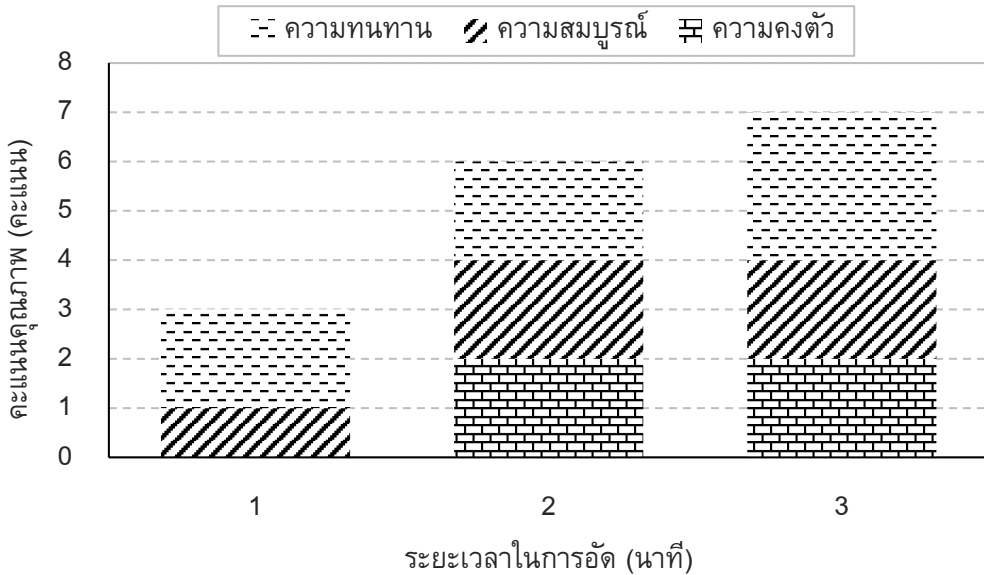
การวิเคราะห์ผลการทดลองจะพิจารณาจากคะแนนคุณภาพทั้งหมด 8 คะแนน ซึ่งเกิดจากการวิเคราะห์จากคะแนน 3 ด้าน ประกอบด้วย 1) ความคงตัวของภาชนะ จำนวน 3 คะแนน แบ่งเป็นลักษณะของขอบถ้วยหลังการอัดขึ้นรูปและตัดให้เป็นรูปถ้วย มีลักษณะแบบเรียบ (1 คะแนน) ภาชนะสามารถคงตัวหลังการขึ้นรูป มีความสมมาตร ไม่นิ่มเอียง (1 คะแนน) และใบตองแต่ละชั้นแนบติดกัน (1 คะแนน) 2) ความสมบูรณ์ จำนวน 2 คะแนน จำแนกเป็นภายในของภาชนะไม่เกิดการฉีกขาดจากการขึ้นรูป (1 คะแนน) และภายนอกของภาชนะไม่เกิดการฉีกขาด (1 คะแนน) และ 3) ความทนทานในการใช้งาน (3 คะแนน) โดยการทดสอบบรรจุไว้เต็มภาชนะเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงและสังเกตลักษณะที่เกิดขึ้น แบ่งเป็นภาชนะไม่เกิดการรั่วซึม (1 คะแนน) ภาชนะไม่เกิดการคายตัวหรือเสียรูประหว่างการใช้งาน (1 คะแนน) และสามารถบรรจุน้ำได้ตลอด 3 ชั่วโมง (1 คะแนน) หลังจากการวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งหมดจะนำเงื่อนไขที่มีคะแนนคุณภาพสูงมาคำนวณค่าความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยคำนวณจากราคาเครื่องอัดภาชนะใบตองส่วนโดยค่าเฉลี่ยกำไรสุทธิในแต่ละเดือน

3. ผลการวิจัย

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพของถ้วยใบตองที่ใช้เครื่องอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะประกอบด้วยเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป จำนวนชั้นใบตองที่ใช้วางซ้อนกันเป็นชั้น ๆ โดยใช้แนวเส้นใบตองวางตั้งฉากกัน และอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปความร้อน

3.1 ผลของเวลาในการอัดร้อนขึ้นรูป

การเพิ่มเวลาในการอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะจากใบตองแห้งจากเวลา 1 นาที เป็น 2 นาที และ 3 นาที ตามลำดับ พบว่า แนวโน้มคะแนนคุณภาพของถ้วยใบตองมีค่าเพิ่มขึ้น นั้นแสดงให้เห็นว่า ค่าความคงตัว ความสมบูรณ์ของภาชนะ และความทนทานในการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลของเวลาในการอัดร้อนขึ้นรูปถ้วยใบตองต่อคะแนนคุณภาพ (อุณหภูมิ 105 °C จำนวนใบตอง 3 ชั้น)

- เวลาในการอัด 1 นาที คะแนนความคงตัวมีค่าต่ำเนื่องจากภาชนะที่ได้ไม่มีความสมมาตร ถ้วยใบตองเกิดการโน้มเอียง อีกทั้งใบตองในแต่ละชั้นไม่แนบสนิทกัน เนื่องจากนี้บริเวณปากถ้วยเกิดการโก่งไม่แบนเรียบ เมื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของชิ้นงานจากการทดลองทั้ง 7 ครั้ง พบว่าโดยส่วนมากใบตองชั้นนอกของภาชนะจะเกิดการฉีกขาดเกิดขึ้น ลักษณะของถ้วยใบตองที่เวลาอัด 1 นาที ได้แสดงดังรูปที่ 4 (ก) หลังจากบรรจุน้ำเป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าภาชนะเริ่มเกิดการคายตัวในช่วง 1 ชั่วโมงแรก ซึ่งเกิดภาชนะมีค่าความคงตัวต่ำ แต่ยังสามารถบรรจุน้ำได้นานมากกว่า 3 ชั่วโมง และไม่มีการรั่วซึมเกิดขึ้นในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก)

- เวลาในการอัด 2 นาที แนวโน้มของคะแนนในส่วนของคุณภาพความคงตัวและความสมบูรณ์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มเวลาในการอัดจะช่วยให้ใบตองมีเวลาในการคงตัวได้นานขึ้น จึงช่วยให้ใบตองในแต่ละชั้นแนบชิดกันมากขึ้นและบริเวณปากถ้วยมีความแบนเรียบเพิ่มขึ้น เนื่องจากนี้

ความเสียหายจากการฉีกขาดของใบตองที่เกิดขึ้นด้านนอกภาชนะมีค่าลดลง รูปร่างของภาชนะแสดงในรูปที่ 4 (ข) หลังบรรจุน้ำภาชนะเริ่มเกิดการคายตัวทำให้ไม่สามารถคงรูปเดิมได้ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข)

- เวลาในการอัด 3 นาที ถ้วยใบตองมีความสมมาตรตามแบบของแม่พิมพ์ แต่ขอบถ้วยยังพบเห็นการโก่งของใบตอง ดังแสดงในรูปที่ 4 (ค) หลังผ่านการบรรจุน้ำในภาชนะจะสังเกตเห็นว่าใบตองชั้นเกิดการคายตัวน้อยมาก ซึ่งจะแตกต่างจากทั้ง 2 ตัวอย่างก่อนหน้าอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5 (ค) เนื่องจากภาชนะมีเวลาในการคงรูปตามแบบของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น จึงทำให้รูปร่างออกมาดีกว่าการทดสอบที่ 1 นาที และ 2 นาที



(ก) 1 นาที



(ข) 2 นาที



(ค) 3 นาที

รูปที่ 4 ผลของการเพิ่มระยะเวลาในการอัด (อุณหภูมิ 105 °C จำนวนใบตอง 3 ชั้น)



(ก) 1 นาที



(ข) 2 นาที



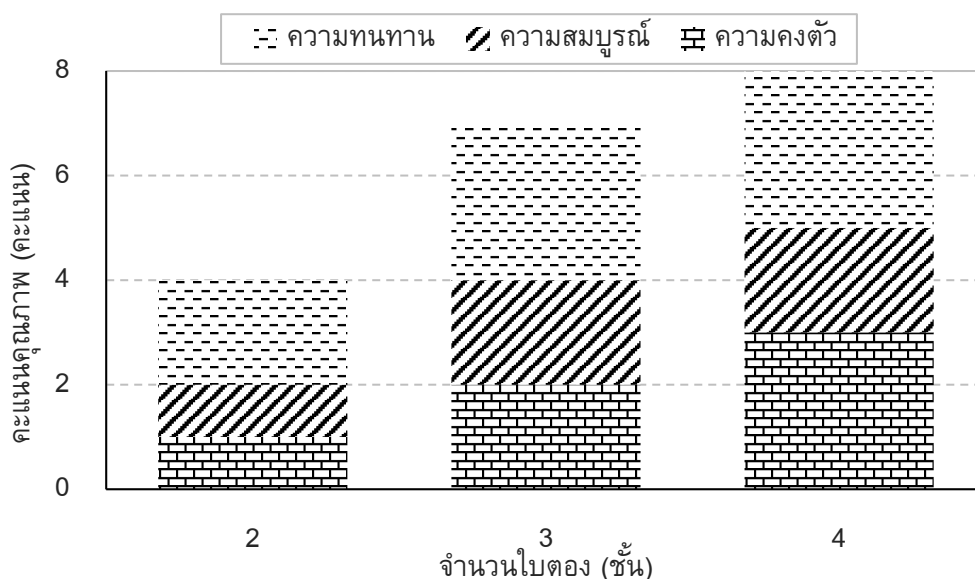
(ค) 3 นาที

รูปที่ 5 ผลของการเพิ่มระยะเวลาในการอัด หลังการทดสอบบรรจุน้ำ (อุณหภูมิ 105 °C จำนวนใบตอง 3 ชั้น)

ดังนั้นการเพิ่มเวลาในการอัดร้อนขึ้นรูปใบตองจะทำให้ได้ถ้วยใบตองที่มีคะแนนคุณภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากใบตองมีเวลาในการคงรูปมากขึ้น [13] ทำให้ถ้วยใบตองที่ได้มีลักษณะตรงตามแบบของแม่พิมพ์ นอกจากนี้ยังมีความทนทานในการใช้งานอีกด้วย

3.2 ผลของจำนวนชั้นใบตอง

การทดสอบเพิ่มจำนวนชั้นใบตองจาก 2 ชั้น เป็น 3 ชั้น และ 4 ชั้น ตามลำดับ โดยให้ทิศทางของเส้นใบตองวางตั้งฉากกันในแต่ละชั้น พบว่าคะแนนคุณภาพของภาชนะมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งด้านความคงตัว ความสมบูรณ์หลังการขึ้นรูป และความทนทานในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลของจำนวนชั้นในการอัดร้อนขึ้นรูปถ้วยใบตองต่อคะแนนคุณภาพ (อุณหภูมิ 115 °C เวลาในการอัด 1 นาที)

- ใบตอง 2 ชั้น ถ้วยใบตองหลังการขึ้นรูปจะมีขอบถ้วยโก่ง ไม่เรียบเนียน และไม่สมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) ซึ่งอาจเกิดจากจำนวนใบตองที่น้อยเกินไป นอกจากนี้ข้างในภาชนะเกิดการฉีกขาด แต่ยังสามารถบรรจุน้ำได้ตลอด 3 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นรอยย่นหรือการคายตัวของใบตองด้านในหน้าของถ้วย ดังแสดงในรูปที่ 8 (ก)

- ใบตอง 3 ชั้น ความคงตัว ความสมบูรณ์ และความทนทานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากภาชนะเริ่มมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงทำให้สามารถคงรูปร่างได้ค่อนข้างตามแบบที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) หลังทดสอบการบรรจุน้ำภาชนะไม่เกิดการคายตัว สามารถคงรูปได้เหมือนตอนเริ่มทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 8 (ข)

- ใบตอง 4 ชั้น มีรูปร่างที่สวยงามตรงตามแบบที่ต้องการ เนื่องจากความหนาที่เพิ่มขึ้นทำให้ช่องว่างในขณะประกอบของแม่พิมพ์ตัวบนและแม่พิมพ์ตัวล่างลดลง ส่งผลให้ได้ชิ้นงานออกมาตามแบบ นอกจากนี้ยังทำให้ใบตองแต่ละชั้นแนบสนิทกันทำให้ถ้วยแข็งแรงมากขึ้น [13] ดังแสดงในรูป

ที่ 7 (ค) หลังจากบรรจุน้ำถ้วยใบตองนี้ยังมีความทนทาน ไม่เกิดการรั่วซึม และไม่คายในระหว่างใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 8 (ค)

การเพิ่มจำนวนชั้นใบตองจะช่วยให้อ้วยใบตองมีความสวยงามและความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากจำนวนใบตองที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของภาชนะ นอกจากนี้ปริมาณของกาวยาประสานที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของใบตองเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ช่วยให้ใบตองคงรูปได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามในเชิงเศรษฐศาสตร์ต้องทำการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนเพิ่มหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งจะกล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป



(ก) 2 ชั้น



(ข) 3 ชั้น



(ค) 4 ชั้น

รูปที่ 7 ผลของการเพิ่มจำนวนชั้นใบตอง (อุณหภูมิ 115 °C เวลาอัด 1 นาที)



(ก) 2 ชั้น



(ข) 3 ชั้น



(ค) 4 ชั้น

รูปที่ 8 ผลของการเพิ่มจำนวนชั้นใบตอง หลังการทดสอบบรรจุน้ำ (อุณหภูมิ 115 °C เวลาอัด 1 นาที)

3.3 ผลของอุณหภูมิในการขึ้นรูป

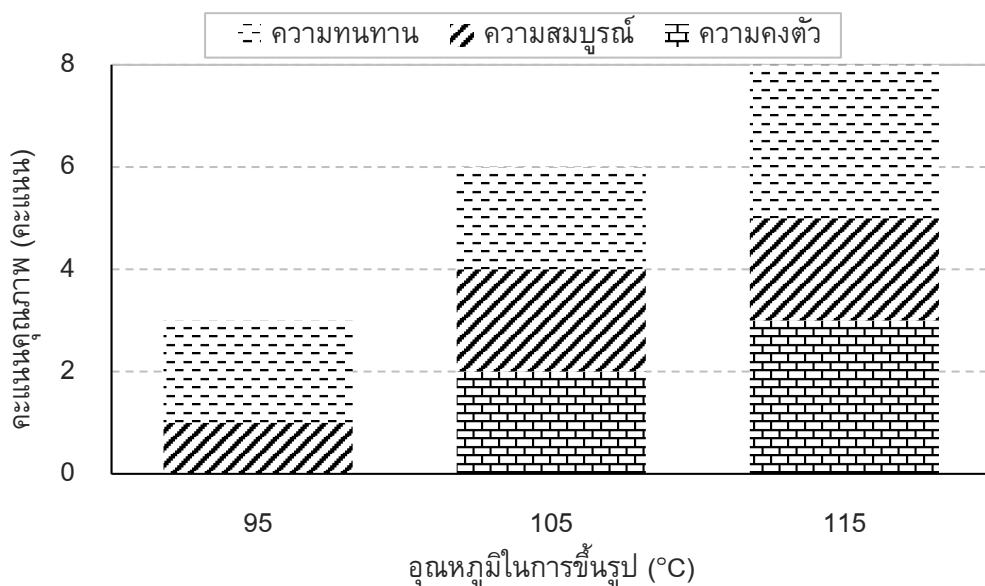
การเพิ่มความร้อนที่แม่พิมพ์ทั้งด้านบนและด้านล่างให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทีละ 10 °C จาก 95 °C เป็น 105 °C และ 115 °C ตามลำดับ พบว่าคะแนนคุณภาพของถ้วยใบตองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งที่อุณหภูมิแม่พิมพ์เท่ากับ 115 °C จะทำให้ภาชนะมีคะแนนคุณภาพดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 9

- อุณหภูมิ 95 °C ค่าความคงตัวของถ้วยใบตองมีค่าน้อยมาก เนื่องจากใบตองไม่แนบติดกัน เกิดการโก่งบริเวณขอบถ้วย และมีรูปร่างที่ไม่สมมาตร ดังแสดงในรูปที่ 10 (ก) เนื่องจากความร้อน

กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ไม่เพียงพอ ทำให้ไม่สามารถคงรูปได้ตามต้องการ ดังนั้นเมื่อนำมาทดสอบบรรจุน้ำจึงทำให้เกิดการคายตัวได้อย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 11 (ก)

- อุณหภูมิ 105 °C อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้การกระจายความร้อนจากแม่พิมพ์ไปยังไบตองเกิดขึ้นเร็วขึ้น ยังทั้งช่วยให้กาบแข็งเปื่อยกसानไบตองแต่ละชั้นได้ดีขึ้นและแห้งเร็วขึ้น จึงทำให้ได้รูปร่างใกล้เคียงกับแบบที่กำหนดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 10 (ข) แต่อย่างไรก็ตามถ้ายไบตองจะเกิดการคายตัวเมื่อนำไปบรรจุน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 11 (ข) เนื่องจากอุณหภูมินี้ยังไม่เหมาะสมที่จะทำให้ไบตองเกิดการเสียรูปอย่างถาวร

- อุณหภูมิ 115 °C ภาชนะเกิดเป็นรูปร่างตามต้องการ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้ไบตองเกิดการเสียรูปได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งทำให้ได้ขอบถ้วยที่แบนเรียบ ดังแสดงในรูปที่ 10 (ค) และหลังจากการบรรจุน้ำ ภายในถ้วยไบตองดูดซับน้ำน้อยมาก เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะลดอัตราการดูดซับน้ำของไบตองลง [16] ดังแสดงในรูปที่ 11 (ค)



รูปที่ 9 ผลของอุณหภูมิแม่พิมพ์ในการอัดร้อนขึ้นรูปถ้วยไบตองต่อคะแนนคุณภาพ (เวลาในการอัด 2 นาที จำนวนไบตอง 3 ชั้น)



(ก) 95 °C



(ข) 105 °C



(ค) 115 °C

รูปที่ 10 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (เวลาในการอัด 2 นาที จำนวนใบตอง 3 ชั้น)



(ก) 95 °C



(ข) 105 °C



(ค) 115 °C

รูปที่ 11 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์ หลังการทดสอบบรรจุน้ำ (เวลาในการอัด 2 นาที จำนวนใบตอง 3 ชั้น)

การเพิ่มอุณหภูมิของแม่พิมพ์จะทำให้ใบตองเสียรูปได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ได้ภาชนะตามแบบที่ต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยให้กาบแปงเปียกที่ใช้ประสานใบตองแต่ละชั้นแห้งเร็วขึ้น ซึ่งช่วยให้ใบตองแนบติดกันและแข็งแรงมากขึ้น

3.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

จากการสำรวจราคาใบตองตานีในท้องตลาดในช่วงทำการทดสอบพบว่า ใบตอง 5 kg จะมีราคาอยู่ที่ 70 บาท ซึ่งสามารถนำมาทำเป็นใบตองแห้งเพื่อใช้ในการขึ้นรูปภาชนะได้ประมาณ 135 แผ่น ราคาของเครื่องอัดภาชนะอยู่ที่ประมาณ 40,000 บาท โดยคำนวณค่าไฟฟ้าในกรณีฮีตเตอร์ทั้ง 3 แท่งทำงานแบบเต็มประสิทธิภาพ เฉลี่ยวันละ 8 ชั่วโมง จำนวน 30 วันต่อเดือน ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท คิดเป็นเงิน 28.80 บาทต่อวัน กำหนดราคาขายภาชนะใบตองราคา 2.50 บาทต่อชิ้น จากการคำนวณเงื่อนไขการทดสอบที่ได้คะแนนคุณภาพดีที่สุดพบว่า การอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะใบตองที่อุณหภูมิ 115 °C จำนวนใบตอง 3 ชั้น และเวลาในการอัด 2 นาที จะทำให้ระยะเวลาในการคืนทุนสั้นที่สุดอยู่ที่ 11 เดือน เนื่องจากมีกำไรสุทธิอยู่ที่ 112.31 บาทต่อวัน และมีอัตราการผลิต 160 ชิ้นต่อวัน สำหรับเงื่อนไขที่อัตราการผลิตมากที่สุดจำนวน 240 ชิ้นต่อวัน ต้องใช้อุณหภูมิ

115 °C จำนวนใบตอง 4 ชั้น และระยะเวลาในการอัด 1 นาที ผลการคำนวณค่าการคืนทุนได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การคำนวณค่าการคืนทุนของเครื่องอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะจากใบตอง

อุณหภูมิ (°C)	จำนวนชั้น (ชั้น)	เวลาอัด (นาที)	จำนวน (ชิ้น/ชั่วโมง)	จำนวน (ชิ้น/วัน)	ทุน (บาท/วัน)	กำไรสุทธิ (บาท/วัน)	ระยะเวลา คืนทุน (เดือน)
105	4	3	15	120	277.69	22.31	59.76
115	3	2	20	160	277.69	122.31	10.90
115	3	3	15	120	215.47	84.53	15.77
115	4	1	30	240	526.58	73.42	18.16
115	4	2	20	160	360.65	39.35	33.89
115	4	3	15	120	277.69	22.31	59.76

*หมายเหตุ: ระยะเวลาในการเตรียมภาชนะในแต่ละครั้งใช้เวลาเฉลี่ย 1 นาที

จากตารางที่ 1 เป็นการคำนวณราคาใบตองที่ซื้อขายในท้องตลาดทำให้ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง แต่สำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกต้นกล้วยเป็นอาชีพหลักจะเป็นการเพิ่มมูลค่าทางการเกษตรให้กับเกษตรกรได้ในระดับหนึ่ง

4. สรุป

การศึกษาลักษณะทางกายภาพของถ้วยใบตองหลังอัดร้อนขึ้นรูปโดยใช้ PCM ช่วยในการกระจายความร้อนของแม่พิมพ์ตัวบนและแม่พิมพ์ตัวล่างโดยการแบ่งคะแนนคุณภาพออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ความคงตัวของภาชนะ ความสมบูรณ์ และความทนทานในการใช้งาน พบว่า

- การเพิ่มเวลาในการอัดขึ้นรูปจะทำให้ภาชนะมีลักษณะตรงตามแบบที่ต้องการและมีรูปทรงที่สวยงาม เนื่องจากภาชนะมีเวลาในการคงรูปมากขึ้น
- จำนวนชั้นของภาชนะที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงของภาชนะทำให้มีความทนทานและไม่เกิดการเสียรูประหว่างใช้งาน
- การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ชั้นแต่ละชั้นของใบตองแนบสนิทกันมากขึ้น ทำให้ผิวภาชนะเนียนสนิทกัน อีกทั้งยังช่วยลดอัตราการดูดซับน้ำทำให้ใบตองไม่เกิดการคายตัว

- ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า การอัดร้อนขึ้นรูปภาชนะไบโตนที่มีการคืนทุนเร็วที่สุดคือ 11 เดือน โดยการใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูป 115 °C ไบโตนแห้งจำนวน 3 ชั้น และเวลาในการอัด 2 นาที ซึ่งได้อัตราการผลิต 160 ชิ้นต่อวัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยของโครงการนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำงานวิจัย

References

- [1] Darkwah WK, Odum B, Addae M, Koomson AD, Kwakye BD, Ewurabena AOM, et al. Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming. Journal of Scientific Research & Reports 2017;17(6):1-9.
- [2] Markphan W, O-Thong S. Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management case study: Nakhon Si Thammarat Municipality Landfill. Thai Science and Technology Journal 2020;28(11):2064-73. (In Thai)
- [3] Hirathanapinyo A. Climate change and the role of greenhouse gas reduction in Thailand's power generation. Environmental Journal 2020;23(1):1-8.
- [4] Pollution control department. Waste and hazardous substances management division. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment; 2021. (In Thai)
- [5] Khiaorakeaw S. Attitude of consumers towards food packaging from bagasse in Mueang Chiang Mai district. [thesis]. Chiang Mai, Thailand: Chiang Mai university; 2011. (In Thai)
- [6] Maritnus M, Dfausal GP, Sulistiyanti SR, Muhammad MA, Telaumbanua M. Tebakak leaves plates as an Eco-friendly disposable plate: cultural roots, technology and people transformations. Advances in Social Science, Education and Humanities Research 2021;606:302-7.
- [7] Liwthaisong M. Production of biodegradable food packaging from banana sheath. [thesis]. Nakhon Ratchasima, Thailand; Suranaree university of technology; 2013. (In Thai)
- [8] Denthet S, Isarankura Na Ayutthaya S. An analysis of the efficiency of development package food from the rice straw for enhances economical cost. The Journal of Applied Science 2014;13(1):14-29. (In Thai)

- [9] Tengrang S. Packaging technology research and development project. Bangkok: Department of Agriculture; 2015. (In Thai)
- [10] Sutthiyapiwat S, Phayoonpun T. Design and development of food packaging form betel husk to add value for strong community and economic foundation. Princess of Naradhiwas University Journal 2019;12(1):120-31. (In Thai)
- [11] Mohanty DP, Udupa A, Chandra AAR, Viswanathan K, Mann JB, Trumble PK, et al. Mechanical behavior and high formability of palm leaf materials. Advance Energy and Sustainability Research 2021;2: 1-12.
- [12] Wongpoo K, Jewpanya P. The design and development of lotus leaves forming machine. RMUTL Engineering Journal 2021;6(1):19-27. (In Thai)
- [13] Muang-lam N, Petchto P, Chouphiphit P, Khunthong P. The study physical characteristics of natural container. Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal 2021;3(1):1-9. (In Thai)
- [14] Laistrooglai A, Mosikarat P, Wigran M. Packaging design with natural materials: A study for conservation. Nakhon Pathom: Silpakorn University; 2000.
- [15] Pratama RL, Junianto. Banana leaves as a natural food packaging: A review. Global Scientific Journal 2021;9(12):625-28.
- [16] Sornsueb M. Effect of temperature and pressure on mechanical properties of banana leaf forming. [thesis]. Chiang Mai, Thailand: Chiang Mai university; 2008. (In Thai)
- [17] Imeh EE, Akaninyene DA, Sunday EE, Isaiah GP, Aniefiok EU. Investigation of thermal properties of Plantain (*Musa paradisiaca*) and Mfang Aya (*Thaumatococcus daniellii*) as thermal radiation insulator. Journal of Natural Sciences Research 2016;6(15):33-7.

ประวัติผู้เขียนบทความ



กฤษฎา อ้นอ้าย สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 156 ถนนเลี้ยวใหม่
พิษณุโลก ต.พลาชุมพล อ.เมือง จ.พิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000
E-mail: Kritsada.O@psru.ac.th โทรศัพท์ 064-8864245
งานวิจัยที่สนใจ: ท่อความร้อน ระบบความร้อน งานวิจัยด้านพลังงาน
ทดแทน



สรวิศ สอนสารี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 156 ถนนเลี้ยวใหม่
พิษณุโลก ต.พลาชุมพล อ.เมือง จ.พิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

E-mail: sorawitsonsaree@psru.ac.th โทรศัพท์ 063-3344448

งานวิจัยที่สนใจ: ทางด้านพลังงานทดแทน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
และการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

Article History:

Received: May 20, 2022

Revised: August 26, 2022

Accepted: August 27, 2022

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์

**IMPACT ANALYSIS OF A SOLAR ROOFTOP WITH BATTERIES
INSTALLED ON THE ROOF OF AN ORGANIC FERTILIZER PLANT**

บุญเลิศ สือเฉย¹ สมศักดิ์ สิริโปรานานนท์² และ อรพิน วรณราช³

^{1,2}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160,

¹tdlert@hotmail.com, ²somsaks@sau.ac.th

³วิศวกรไฟฟ้า, สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร 2

เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400, w.orapin@hotmail.com

Boonlert Suechoey¹ Somsak Siriporananon² and Orapin Wannaraj³

^{1,2}Lecturer, Department of Electrical Engineering, Graduate School, Faculty of Engineering,
Southeast Asia University, 19/1 Phetchakasem Rd., Nongkhaem, Bangkok, Thailand 10160,

¹tdlert@hotmail.com, ²somsaks@sau.ac.th

³Electrical Engineer, Environment Department BMA, Bangkok City Hall 2

Dindeang, Bangkok, Thailand 10400, w.orapin@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำในการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ในระบบจำหน่าย 24000-416/240 V ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA มีภาระโหลดแบบกระจายอยู่สามส่วนหลักที่ 85%, 3% และ 12% ตามลำดับ โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน (Load Profile) ที่แตกต่างกัน คือโรงงานและสำนักงาน อ้างอิงตามตารางการทำงานในปัจจุบันเพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVWatts Calculator ในการพยากรณ์กำลังผลิตติดตั้งของระบบ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DigSILENT PowerFactory) เพื่อจำลองและวิเคราะห์การไหลของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ตลอดจนพิจารณาศึกษาในกรณีที่มีและไม่มีติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

จะสร้างข้อเสนอแนะที่น่าสนใจต่อการนำไปพิจารณาใช้งานจริงในหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจศึกษานำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ: พลังงานทดแทน, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา, พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่

ABSTRACT

This paper presents the impact of grid-connected solar rooftop for high penetration in low voltage distribution network of the 24000-416/240 V grid system. Transformer capacity is 2500 kVA which each loaded 85%, 3% and 12% respectively. The study considers the different load profiles at factory and office. the hourly load profile of an organic fertilizer plant in Thailand base on work schedule is presented. Using the load profile, a solar rooftop system has been designed. PVWatts Calculator program has been used for forecasting capacity of the system. In this study, the DigSILENT PowerFactory program is used to simulate and analyze Power flow, Voltage stability and Power factor at the proposed distribution network. Therefore, this research presents the effect of installing a rooftop solar power system with and without a battery in an organic fertilizer plant. For the results obtained from this research, it will create recommendations that can be considered for practical use in.

KEYWORDS: Renewable Energy, Solar Energy, Solar Rooftop, Solar Rooftop with Battery

1. บทนำ

จากประเด็นปัญหาการเปลี่ยนแปลงระบบภูมิอากาศ (Climate System) [1-2] และปัญหาวิกฤติการณ์ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงานที่มีความผันผวนเป็นอย่างมาก [3] ดังรูปที่ 1 และ 2 ก่อให้เกิดความกังวลต่อการจัดการปริมาณเชื้อเพลิงสำรองให้เพียงพอรองรับความต้องการใช้ที่มีอัตราเพิ่มขึ้น [4] ในภาคส่วนต่าง ๆ อาทิ ภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า กระตุ้นให้เกิดความต้องการนำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่หลากหลายมาใช้งาน หนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่มีการทำการศึกษาและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายว่ามีศักยภาพสูงสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยคือ พลังงานแสงอาทิตย์ [5] โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา มีการศึกษา วิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และการใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง [6-13] และพลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 1 สถานการณ์ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงาน [2]



รูปที่ 2 สถานการณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน [4]

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพียงในช่วงเวลากลางวัน โดยในแต่ละช่วงเวลาจะมีค่าไม่คงที่เนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และฤดูกาล ทำให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่มีเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เกิดการกระเพื่อมของแรงดัน (Voltage Fluctuation) อันเป็นเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบทำงานผิดพลาดเสียหายได้ การเพิ่มระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพระบบไฟฟ้า ความมั่นคงของระบบไฟฟ้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอผลกระทบทางไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อนำผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสร้างข้อเสนอแนะที่น่าสนใจต่อการนำไปพิจารณาใช้งานจริงในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจศึกษานำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ [10] คือ

2.1.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อใช้งานตรงกับโหลดไฟฟ้า กระแสตรง และอีกรูปแบบหนึ่งคือ นำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Solar Charge Controller) ซึ่งต่ออยู่ถัดมาและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ควบคุมการประจุสามารถนำไปใช้งานโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงได้เลย และในขณะเดียวกันถ้ากำลังไฟฟ้าเหลือก็สามารถนำไปชาร์ตเข้าแบตเตอรี่ (ควรเลือกใช้เป็นแบตเตอรี่แบบ Deep Cycle) และถัดมาเป็นอุปกรณ์แปลงผันพลังงานเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ โดยโหลดที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV Grid Connected System)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้า อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอินเวอร์เตอร์ โดยต่อผ่านกล่องต่อสายและเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงหรือแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง

2.1.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของ

อุปกรณ์แปลงผันพลังงานแบบผสมผสาน (Hybridge Inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้าและแบตเตอรี่ โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มาจะนำไปใช้กับซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ 230 Vac และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า

2.2 ค่าพลังงานของโซลาร์เซลล์และวงจรสมมูล

กรณีมีแสงอาทิตย์ สามารถหาได้ดังสมการ

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \frac{q(V+IR_s)}{N \times T \times K} - 1 \right] - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (1)$$

โดยที่

I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง; A

I_s คือ กระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด; A

q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} ; C

N คือ Ideal factor โดยขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

K คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$ J/Kevin

T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขั้วทำงานของเซลล์; Kevin

V คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด; V

R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์; Ω

R_{sh} คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์; Ω

กรณีแสงอาทิตย์ดับ

เมื่อค่า I_{ph} เป็นกระแสที่สร้างขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ซึ่งค่ากระแสที่สร้างขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงและอุณหภูมิตามสมการ

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_1(T - T_{ref})]\lambda \quad (2)$$

โดยที่

I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25°C ; A

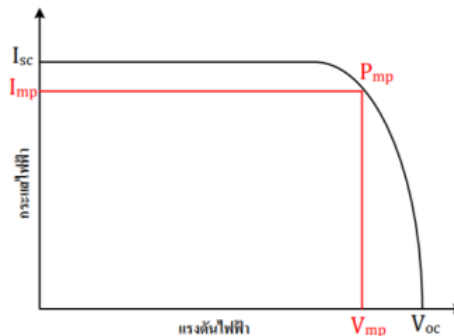
K_1 คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร; $\text{A}/^\circ\text{C}$

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์; Kevin

λ คือ ความเข้มแสง; kW/m^2

2.3 กราฟคุณลักษณะกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve) [12]

ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระแสและแรงดันของวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

3. เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

การเชื่อมต่อนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพ (Stability) และ ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ต่อคุณภาพของไฟฟ้าในระบบจำหน่าย (Power Quality)

การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (Over Voltage) การเชื่อมต่อนระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่มากเกินความต้องการของโหลดรวมจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินใน ระดับแรงดันต่ำ โดยขนาดความรุนแรงขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบพลังงานไฟฟ้า แสงอาทิตย์และตำแหน่งที่ติดตั้ง

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: P.F.) คือค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ ใช้งานจริงหรือ Real Power (P) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt : W)หารด้วยค่ากำลังงานที่ปรากฏ หรือ Apparent Power (S) ซึ่งมีหน่วยเป็นโวลต์-แอมแปร์ (VA) แสดงได้ตามสมการ

$$\text{Power factor} = \cos \phi = \frac{\text{Active power (W)}}{\text{Apparent power (VA)}} \quad (3)$$

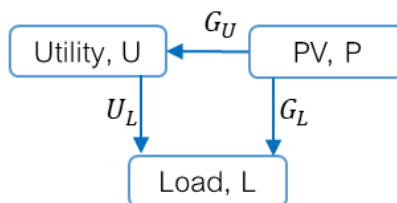
ผลกระทบที่เกิดจากตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่อง แปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์อุปกรณ์ อินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จะถูกตั้งค่าที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง หรือมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เพื่อที่จะให้ระบบผลิตพลังงาน Active Power มากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่คำนึงถึง Reactive Power ทำให้มีปริมาณสูงขึ้นในระบบจำหน่าย กล่าวคือ เมื่อทำให้ค่า Power Factor ของระบบลดต่ำลง ก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบจำหน่ายด้วย ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้า

ไปยังโหลดได้น้อยลง และเมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าที่การไฟฟ้า กำหนดก็จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

4. ระบบกักเก็บพลังงาน

4.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (PV, P) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด ดังสมการ $P = G_U + G_L$ และแบบจำลองระบบไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน

สมดุลกำลังไฟฟ้าของโหลด คือ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (Load Power, L) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด ดังสมการ $L = G_L + U_L$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย (Importing Power, I) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด ดังสมการ $I = U_L$

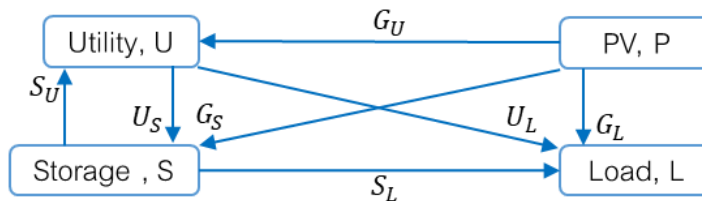
สมดุลกำลังไฟฟ้าของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย (Exporting Power, E) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย ดังสมการ $E = G_U$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของระบบ (Balance of Power System) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมกับ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย เท่ากับ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย ดังสมการ $P + I = L + E$ และ $(G_U + G_L) + (U_L) = (G_L + U_L) + (G_U)$

4.2 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (PV, P) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไป

ยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ $P = G_U + G_L + G_S$ และแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน

สมดุลกำลังไฟฟ้าของโหลด คือ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (Load Power, L) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด ดังสมการ $L = G_L + S_L + U_L$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย (Importing Power, I) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ $I = U_L + U_S$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย (Exporting Power, E) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่ายรวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโครงข่าย ดังสมการ $E = G_U + S_U$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการอัดประจุ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่ (Charging Power, C) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ $C = G_S + U_S$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการคายประจุ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่คายประจุออกจากแบตเตอรี่ (Discharging Power, D) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหลด ดังสมการ $D = S_U + S_L$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของระบบ (Balance of Power System) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมกับปริมาณไฟฟ้าที่คายประจุออกจากแบตเตอรี่และรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย เท่ากับ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่และรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย ดังสมการ $P + D + I = L + C + E$

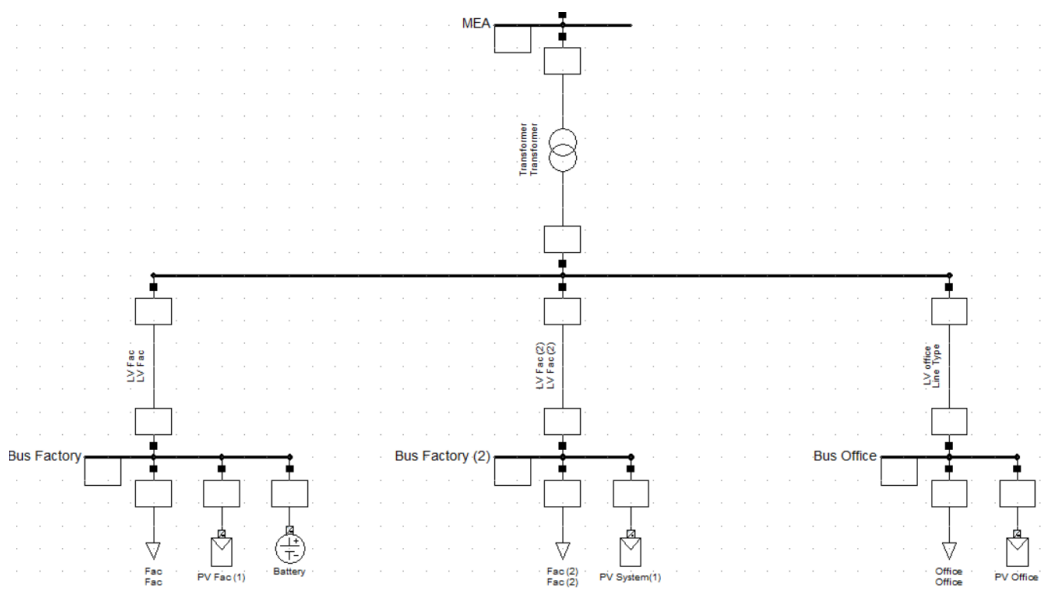
5. การจำลองระบบไฟฟ้าที่นำเสนอ

การสร้างแบบจำลองในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมและผลกระทบทางไฟฟ้าต่อระบบจำหน่าย และขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพิจารณาใช้งาน สำหรับการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ในรูปแบบโหลดการใช้งานที่มีกลุ่มกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน โดยพิจารณาการใช้ไฟฟ้าคือโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุช โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2500 kVA, 3 ph, 50 Hz, 24000-416/240 V จำลองและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DIgSILENT PowerFactory) แบ่งเป็น 3 กรณีศึกษาหลัก 11 กรณีศึกษาย่อย แบบจำลองแสดงดังรูปที่ 6

Case 0 เป็นการศึกษาการระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อยังไม่ได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

Case 1 เป็นการศึกษาการระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบ

Case 2 เป็นการศึกษาการระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 6 แบบการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์แต่ละองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 กำหนดข้อมูลขนาดการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ที่จะทำการติดตั้งด้วยโปรแกรม PVWatts Calculator โดยอาศัยข้อมูลพิกัดที่ตั้งของพื้นที่ที่เป็นกรณีศึกษา

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ขนาดสายป้อนต่าง ๆ

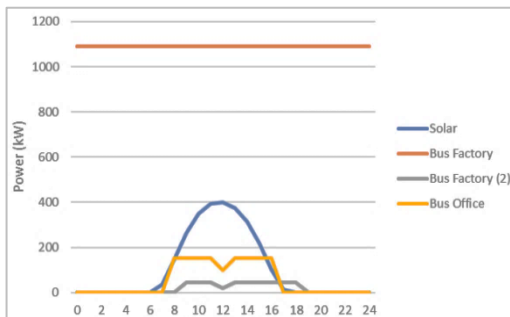
ขนาดสาย (mm ²)	ชนิด	R (Ω/km)	L (mH/km)	XL (Ω/km)	Z (Ω/km)
3×50	CV	0.4938	0.3300	0.1037	0.5046
3×240	THW	0.0915	0.41635	0.1308	0.1596
3×300	THW	0.0736	0.41508	0.1304	0.1479

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ระยะสายส่ง ประเภทโหลด ตำแหน่งและขนาดของ PV

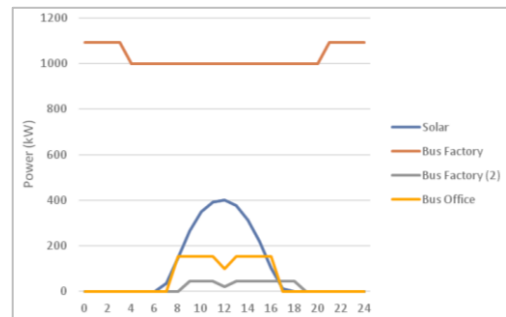
	โรงงาน		สำนักงาน
BUS	Factory (1)	Factory (2)	Office
ระยะทางสายส่ง (km)	0.80	1.20	1.20
Load (kW)	1,091.89	43.83	153.40
Max PV (kW)	280	190	190

5.1 ลักษณะโหลดรายวัน

โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ทำการศึกษาเป็นโรงงานของรัฐบาล ซึ่งในบริเวณพื้นที่จะมีการแบ่งส่วนพื้นที่เพื่อใช้ในการทำงาน อาทิ ส่วนอาคารสำนักงาน ส่วนปรับปรุงคุณภาพ และส่วนการบรรจุ ทำให้มีโหลดไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ใช้งาน เมื่อทำการติดตั้งกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ลักษณะกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วัน จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ ของประเทศนั้น และที่สำคัญสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉพาะในเวลากลางวัน โดยปกติ ตั้งแต่เวลา 07.00 น.-18.00 น. และผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.-14.00 น. พบว่า ช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในวันที่ไม่ได้มีการเดินเครื่องการผลิตเต็มกำลังและช่วงเวลากำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดในรอบ 1 วัน ไม่ตรงกัน ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งในส่วนของแรงดันไฟฟ้าเกินในช่วงเวลากลางวัน



(ก) Bus Factory คงที่



(ข) Bus Factory เปลี่ยนแปลง

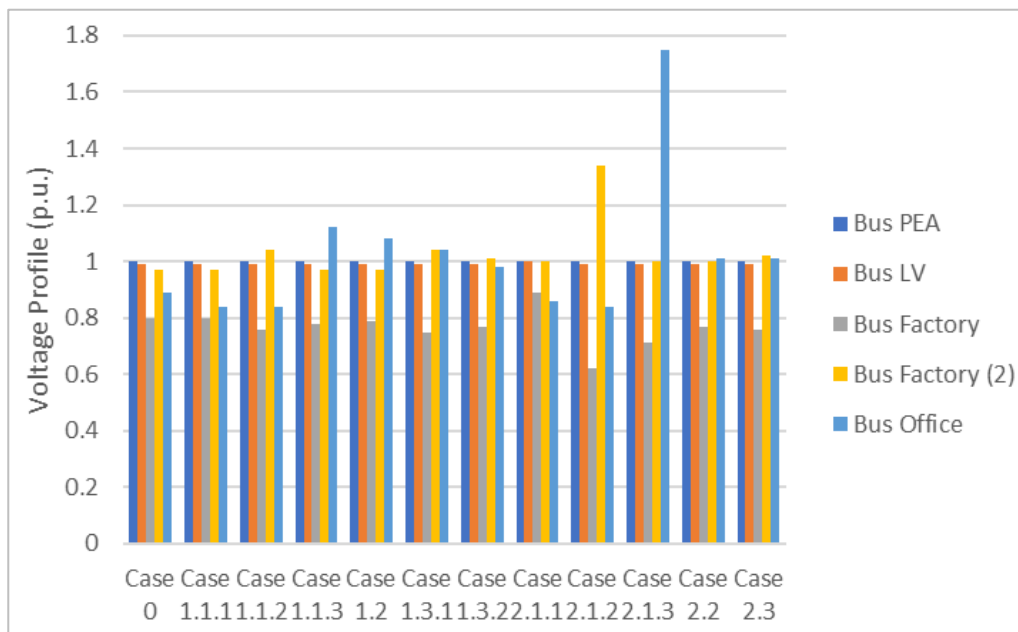
รูปที่ 7 ลักษณะโหลดรายวันของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์

6. ผลการทดลองและอภิปรายผล

6.1 ผลการศึกษาคุณภาพระบบไฟฟ้า (Voltage Profile)

ตารางที่ 3 บันทึกค่า Voltage Profile จากการจำลองระบบในกรณีศึกษาต่าง ๆ

Case Study	Bus PEA (p.u.)	Bus LV (p.u.)	Bus Factory (p.u.)	Bus Factory(2) (p.u.)	Bus Office (p.u.)
Case 0	1.00	0.99	0.80	0.97	0.89
Case 1					
Case 1.1					
Case 1.1.1	1.00	0.99	0.80	0.97	0.84
Case 1.1.2	1.00	0.99	0.76	1.04	0.84
Case 1.1.3	1.00	0.99	0.78	0.97	1.12
Case 1.2	1.00	0.99	0.79	0.97	1.08
Case 1.3					
Case 1.3.1	1.00	0.99	0.75	1.04	1.04
Case 1.3.2	1.00	0.99	0.77	1.01	0.98
Case 2					
Case 2.1					
Case 2.1.1	1.00	1.00	0.89	1.00	0.86
Case 2.1.2	1.00	0.99	0.62	1.34	0.84
Case 2.1.3	1.00	0.99	0.71	1.00	1.75
Case 2.2	1.00	0.99	0.77	1.00	1.01
Case 2.3	1.00	0.99	0.76	1.02	1.01



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบ Voltage Profile ในกรณีศึกษาต่าง ๆ จากการจำลองระบบ

6.2 ผลการศึกษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กรณีศึกษา	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
Case 0	-0.22
Case 1	
Case 1.1	
Case 1.1.1	0.28
Case 1.1.2	0.15
Case 1.1.3	0.08
Case 1.2	0.52
Case 1.3	
Case 1.3.1	0.72
Case 1.3.2	0.34

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ต่อ)

กรณีศึกษา	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
Case 2	
Case 2.1	
Case 2.1.1	0.86
Case 2.1.2	0.89
Case 2.1.3	0.77
Case 2.2	0.86
Case 2.3	0.85

6.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้และตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้ง

กรณีต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในระบบที่ทำการศึกษา พบว่า มีกรณีศึกษาที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

6.3.1 หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเพียงหนึ่งบัสในระบบที่ทำการศึกษา ควรทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเติมกำลังตามขนาดพื้นที่ ในบัสที่มีโหลดสูงที่สุด จะเป็นผลดีกับค่าแรงดันของระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา แต่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์การไฟฟ้า ฯ แนะนำ

6.3.2 หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทุกบัสในระบบที่ทำการศึกษา ควรทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยใช้เกณฑ์ตามที่การไฟฟ้าได้กำหนด คือ 15% ของพิกัดหม้อแปลง ซึ่งในการศึกษานี้ หม้อแปลงที่ใช้ในการศึกษามีพิกัด 2500 kVA กำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเท่ากับ 300 kW โดยแบ่งการติดตั้งเป็นบัสละ 100 kW จะเป็นผลดีกับค่าแรงดันของระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา แต่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์การไฟฟ้า ฯ แนะนำ

กรณีต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในระบบที่ทำการศึกษา เป็นการใช้การจำลองผ่านโปรแกรมเพื่อหาค่าแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะนำมาใช้งาน โดยใช้หลักเกณฑ์ว่าแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งนั้นจะต้องสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ ($PF \geq 0.85$) โดยไม่ได้พิจารณาถึงชนิดและมูลค่าของแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ จากผลการศึกษาตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และรูปที่ 8 พบว่า มีกรณีศึกษาที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ 3 กรณี ดังนี้

1) เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในบัสที่มีโหลดสูงสุดที่สุด พบว่า ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบ และสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบให้มีค่าเท่ากับ 0.86 แบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ติดตั้งมีขนาด 800 kW 300 kVAR

2) เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในสองบัสที่มีโหลดสูงสุดที่สุด (บัสการผลิตและบัสสำนักงาน) พบว่า แบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ติดตั้งที่บัสการผลิตและบัสสำนักงาน มีขนาด 600 kW และ 100 kW ตามลำดับ จึงจะสามารถปรับปรุงให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.86 ซึ่งอยู่ในระดับหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้า แนะนำ ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ และช่วยเสริมความมั่นคงในกรณีระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้า ขัดข้องได้

3) เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ทุกบัส พบว่า แบตเตอรี่ที่มีความน่าสนใจ จะนำมาใช้ติดตั้งที่บัสการผลิต บัสการบรรจุ และบัสสำนักงาน มีขนาด 500 kW 50 kW และ 100 kW ตามลำดับ จึงจะสามารถปรับปรุงให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.86 ซึ่งอยู่ในระดับหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ และช่วยเสริมความมั่นคงในกรณีระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้าขัดข้องได้

7. สรุปผล

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า หากระบบที่นำเสนอจะพิจารณาติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยติดตั้งเต็มกำลังการผลิตตามขนาดพื้นที่ ควรทำการติดตั้งในบัสที่มีโหลดขนาดใหญ่ที่สุด หรือหากต้องการพิจารณาติดตั้งกระจายทุกบัสเพื่อให้ได้กำลังผลิตที่เพิ่มขึ้น ควรทำการติดตั้งที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อบนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้า จะช่วยปรับปรุงค่าแรงดันในบัสที่มีโหลดสูงสุดได้ แต่ต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบ

หากระบบที่นำเสนอจะพิจารณาติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมแบตเตอรี่ โดยใช้หลักเกณฑ์ว่า การติดตั้งดังกล่าวจะไม่ส่งผลให้เกิดแรงดันเกินในระบบและแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งนั้นจะต้องสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ ($PF \geq 0.85$) พบว่ามีความเป็นไปได้ 3 กรณีคือ

- 1) ติดตั้งเต็มกำลังการผลิตตามขนาดพื้นที่ในบัสที่มีโหลดสูงสุด
- 2) ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคากระจายทุกบัสที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการติดตั้งแบตเตอรี่ใน 2 บัสที่มีโหลดสูงสุด
- 3) ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคากระจายทุกบัสที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการติดตั้งแบตเตอรี่ทุกบัส

References

- [1] Greenpeace. Climate system [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: <https://www.greenpeace.org/thailand/explore/%20protect/climate/climate-change/>
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC fifth assessment synthesis report summary for policymakers. 2014. (In Thai).
- [3] Energy Policy and Planning Office. Fuel cost [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: <http://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/16150-news-170963>
- [4] Electricity Generating Authority of Thailand. Maximum electric power demand [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116
- [5] Energy Policy and Planning Office. Solar radiation maps of Thailand [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47736&filename=index
- [6] Fupol P. A study of electrical losses in distribution system from installing distribution generation [Thesis]. Bangkok, Thailand: Srinakharinwirot University; 2010. (In Thai).
- [7] Growatt New Energy Technology Co., LTD. Residential energy storage solution [Internet]. 2020 [cited 2020 Jan 10]. Available from: <http://www.ginverter.com/Residential-storage-solution.html>
- [8] Wongsawat Suriya N. Impact of solar photovoltaic rooftop penetration on voltage profiles and power losses in electrical distribution system [Thesis]. Chiang Mai, Thailand: Chiang Mai University; 2018. (In Thai).
- [9] Srivorakul T. Impact of grid-connected solar rooftop system on low voltage distribution system [Thesis]. Pathum Tani, Thailand: Rajamangala of Technology Thanyaburi University; 2018. (In Thai).
- [10] Suechoey B, Siriporananon S, Boonprasert P. The discharge time analysis of the battery energy storage system to reduce the peak demand. Kasem Bundit Engineering Journal 2021;11:22-37. (In Thai).
- [11] Manmit T, Damrongkulkamjorn P. Optimal battery energy storage system for PV grid connector for customer with time-of-use tariff [Thesis]. Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2015. (In Thai).

- [12] Thongprasri P. Analysis of the relationship between solar power and rated load for installation of stand-alone PV system [Thesis]. Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2018. (In Thai).
- [13] Maeraekache H, Sirisumrannukul S. Impact of high solar rooftop photovoltaic penetration on voltage and energy loss in distribution systems. In Proceeding of The National and International Graduate Research Conference 2017 (NIGRC2017). Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University; 2017. p. 362-73. (In Thai).

ประวัติผู้เขียนบทความ



รศ.ดร.บุญเลิศ สือเฉย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์



ผศ.ดร.สมศักดิ์ สิริโปรภานนท์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์



อรพิน วรรณราช ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ทำงานด้านควบคุมและบริหารสัญญาโครงการจ้างเหมาเอกชนควบคุมโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุช ควบคุมและวางแผนงานโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์อ่อนนุช

Article History:

Received: January 30, 2022

Revised: August 28, 2022

Accepted: August 29, 2022

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต:

ศ.ดร.กัณวีร์ กนิษฐ์พงศ์	สาขาวิศวกรรมขนส่ง สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ.ดร.โจเซฟ เคตารี	สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ศ.ดร.ต่อกุล กาญจนาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.ปราโมทย์ เตชะอำไพ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศ.ดร.วัฒนวงศ์ รัตนวราห	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศ.ดร.สุวัฒนา จิตตลดาการ	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Prof. Dr. Belkacem Zeghami	Laboratoire de Mathematiques et Physique des Systeme- Groupe de Mecanique Energetique, Universite de Perpignan, France
รศ.ดร.กมลวัลย์ ลือประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.กัณวรัช พลุปราชญ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.จิรนุช เสี่ยงมศักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพชร	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
รศ.ดร. ผนกร อินทร์พยุง	คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
รศ.ดร.ณฐา คุปตะชัย	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ดนุพล ตันนโยภาส	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ธนุ จุญฉาย	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือวัดและอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.นคร ภู่วโรคม	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

รศ.ดร.นิตย์ เพ็ชรรักษ์	รองอธิการบดี สายงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยธุรกิจ บัณฑิตย
รศ.ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รศ.ดร.บุญเลิศ สือเจย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัฐชู	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ประยูร สุรินทร์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รศ.ดร.ปราโมทย์ ศรีน้อย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.พรฤดี เนติโสภาคกุล	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พานิช วุฒิพฤษ	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.พาสีทธิ์ หล่อธีรพงศ์	บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.พิภพ สุนทรสมัย	ที่ปรึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.พิศิษฐ์ โภคารัตน์กุล	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ดร.ไพโรจน์ สิงหนัดกิจ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.พุศกิต์ ชิวสุวิทย์	ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.ยุทธชัย บรรเทึงจิต	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รศ.ดร.รัตติกว วรากุลศิริพันธ์	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.วรพจน์ กรีสระเดช	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
รศ.ดร.วัชร เพียรสุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.เวทิน ปิยรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
รศ.ดร.สมศักดิ์ มิตะถา	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.สมิตร ส่งพิริยะกิจ	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.เสรี เศวตเศรณี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สุทัศน์ ลีลาทวิวัฒน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
รศ.ดร.สุนิติ สุภาพ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ
รศ.ดร.สุรพล บุญลือ	ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.อดิรักษ์ กาญจนหฤทัย	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.อรันตร จิตต์โสภาคย์	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.อิทธิพงศ์ ชัยสายนันท์	บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์
รศ.ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
รศ.เรวัฒน์ เหล่าไพบูลย์	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต บางเขน
รศ.วิญญู แสงสนิทสิกิจ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
รศ.ศันสนีย์ สุภาภา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา เขตบางเขน
รศ.เอนก ศิริพานิชกร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี
ผศ.ดร.กรกช ทวีสิน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.กิตติพงศ์ อัครสกุล	ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

ผศ.ดร.กฤษณาทิ ทองศรี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.เขมพัฒน์ ตันตวิวัฒน์กุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.จักร จันทลักษณ์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.จารุวรรณ เกษมทรัพย์	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.จิราพรรณ สุนทรโชติ	ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.เจษฎา ชัยนิยม	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.ฉัตร สุจินดา	ธุรกิจส่วนตัว
ผศ.ดร.ชลัท ทิพาการเกียรติ	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผศ.ดร.ชัยรัตน์ ชีระวัฒน์สุข	ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.ชูชัย สุจิรวงศ์	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ณัฐพงศ์ มกระธัช	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ดวงพร กาศาสบี	สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผศ.ดร.ดาวุด ทองทา	ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ติเกะ บุนนาค	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
ผศ.ดร.ทวีศักดิ์ เตชะกระโทก	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.นิพนธ์ วรรณโสภาคย์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน	โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ผศ.ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยพะเยา
ผศ.ดร.พงษ์สัณฐ์ ประกฤตศรี	ภาควิทยาศาสตร์พื้นฐานและพลศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
ผศ.ดร.ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.มนตรี คำเงิน	ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.มนูญ มาศนิยม	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.รัฐภูมิ ฐันทนคุณ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสยาม
ผศ.ดร.วัชรินทร์ ดงบัง	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.วินัย ใจกล้า	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.วิรัตน์ จอมขวา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.ศิรดา ศิริธร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.สนิธ วงษา	ภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมโพธิ อยู่ไว	สาขาวิชาวิศวกรรมเทคนิคธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สมศักดิ์ มีนกร	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผศ.ดร.สโรช บุญศิริพันธ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สิตางค์ ฟิลย์หล้า	ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์	คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.สิริชัย จีรวงศ์นุสรณ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ.ดร.สิริพร โรจนนันต์	ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

ผศ.ดร.สมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ	ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สุรัตน์ อาริรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.อรกมล วังอภิสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.กานติส สุดสาคร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.จิรเมธา สังข์เกษม	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.นราธิป แสงชัย	ศูนย์แห่งความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเรือน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.วรรณะ ประภาภรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผศ.วรากร เกิดทรัพย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.สหรัตน์ วงษ์ศรีชะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.สาริต รุ่งฤดีสมบัติกิจ	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.สุชาติ เหลืองประเสริฐ	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.อุษณีย์ ระหา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.อนุชิต เจริญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.กฤษชัย วิถีพานิช	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์
อ.ดร.คมพันธ์ ชมสมุทร	สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.ดร.ฉัตรเพชร ยศพล	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ชัยพันธ์ ขำญาติ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
อ.ดร.ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี	ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
อ.ดร.ชาติ ฤทธิ์หิรัญ	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ชาญยุทธ กฤตสุนันท์กุล	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

อ.ดร.ชาญวิทย์ อุดมศักดิ์กุล	สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ
อ.ดร.ชานินทร์ ศรีสุวรรณภา	ภาควิชาสถิติประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อ.ดร.ณัฐกรณ์ เจริญธรรม	สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.ดร.ณัฐวุฒิ ธนศรีสถิต	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ดร.ตันติกร พิษณุพิบูล	คณะกรรมการจัดการโลจิสติกส์และการคมนาคมขนส่ง สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
อ.ดร.บุญเลิศ วงศ์เจริญแสงศิริ	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
อ.ดร.ปริญญา บุญเกษม	สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.ดร.ประภาส ผ่องสนาม	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.พงศกร พรหมสวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อ.ดร.พิษณุตม์ จรัสบำรุงโรจน์	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.ภาควัฒน์ แสนเจริญ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
อ.ดร.วาทัญญู รอดประพัฒน์	สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร.วศิน มหัตนรินทร์กุล	ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อ.ดร.วิทยา พวงสมบัติ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อ.ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี	กลุ่มวิจัยและพัฒนาชีวเคมี สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อ.ดร.ศักดิ์ชาย รักการ	สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร.สำเร็จ เนตรภู	บริษัท เอส. เอช. เค. เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
อ.ดร.สุวรรณี สายสิน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
อ.ดร.อดิเทพ ศรีคงศรี	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อ.ดร.อภิชาติ บัวกล้า	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
อ.ดร.อนันต์ เดอร์ชิง	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ
อ.ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.พุทธิพงศ์ เหลือหิรัญวัฒนา	สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวงชนบท
ดร.อัศคพัฒน์ สว่างสุริย์	วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง
อ.จิรวัฒน์ ปล้องใหม่	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
อ.ณัฐนันท์ รัตนไชย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อ.นิตยา จันทรเรือง มหาผล	เลขาธิการสภาวิศวกร, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
อ.นิตติมา อัจฉริยะโพธา	ศูนย์บริการทางการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี
อ.สมเดช อิงคะวะระ	สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา



ปรัชญา ปณิธาน

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมที่มีคุณภาพ เพื่อสนองความต้องการของส่วนราชการ เอกชน ให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ
2. ค้นคว้าและวิจัยทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะสิ่งที่ยังประโยชน์ให้เกิดแก่ประเทศไทยโดยตรง
3. บริการวิชาการ และให้คำปรึกษาแนะนำทางวิศวกรรมศาสตร์แก่หน่วยงานของรัฐและเอกชน รวมทั้งประชาชนทั่วไป

เป้าหมาย และวัตถุประสงค์

1. ผลิตบัณฑิตทางวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อแสวงหาเทคโนโลยีที่ทันสมัย อันนำไปสู่การพัฒนาตนเองทางเทคโนโลยีในการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ
2. ให้บริการวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์แก่สังคม

วิสัยทัศน์

**“คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต เป็นคณะวิศวกรรมศาสตร์
ที่ติดอันดับ 1 ใน 10 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอกชน ที่เป็นที่ยอมรับ
โดยมุ่งเน้นผลิตบัณฑิตวิศวกรนักปฏิบัติที่มีมั่นคงและยั่งยืน”**

ผู้เขียนจะต้องจัดเตรียมบทความต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร จำนวน 1 ชุด และผู้เขียนบทความกรอกข้อมูลใบนำส่งบทความ พร้อมสแกนใบนำส่งบทความและแนบไฟล์ต้นฉบับบทความ มาที่

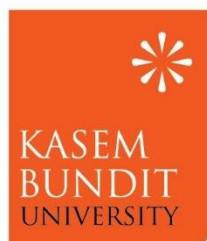
E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th

และสมัครสมาชิกพร้อมส่งบทความผ่านระบบ Online Journal System ได้ที่

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>

ท่านที่สนใจสามารถดูรายละเอียดและดาวน์โหลดแบบฟอร์มต่างๆ หรือสอบถามเพิ่มเติม ได้ที่

- เว็บไซต์: http://eng.kbu.ac.th/home/?main_page=research&page=engineer_journal
- E-mail: engkasemjournal@kbu.ac.th
- <https://www.tci-thaijo.org/index.php/kbej/user/register>
- โทรศัพท์: 0-2320-2777 ต่อ 1211



www.kbu.ac.th

วิทยาเขตพัฒนาการ

1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง
กรุงเทพฯ 10250
โทร. 0-2320-2777
Fax : 0-2321-4444

วิทยาเขตร่มเกล้า

60 ถนนร่มเกล้า เขตมีนบุรี
กรุงเทพฯ 10510
โทร. 0-2904-2222
Fax : 0-2904-2200